

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Návrh a realizace přenosného dataloggeru pro měření projevů termické  
činnosti**

**Design and Implementation of Portable Datalogger for Measurement of  
Effects of Thermal Activity**

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Jiří Pospíšil**

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2601T004 Měřicí a řídicí technika

Téma:

Návrh a realizace přenosného dataloggeru pro měření projevů  
termické činnosti  
Design and Implementation of Portable Datalogger for Measurement  
of Effects of Thermal Activity

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se se strukturou průmyslových měřicích systémů.
2. Seznámení se dostupnými senzory pro danou problematiku.
3. Návrh a realizace HW řešení dataloggeru.
4. Návrh a realizace SW řešení dataloggeru pro vizualizaci naměřených dat.
5. Ověření činnosti dataloggeru na vybrané lokalitě.
6. Zhodnocení dosažených výsledků a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] SYDENHAM, Peter a Richard THORN.(eds.) *Handbook of Measuring System Design*. Wiley, 2005. ISBN 978-0-470-02143-9.
- [2] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. vyd. Praha: BEN- technická literatura, 2004. 199 s. ISBN 80-7300-114-4.
- [3] KREIDL, Marcel. *Měření teploty, senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN-technická literatura, 2005. 240 s. ISBN 80-7300-145-4.
- [4] CARR, Joseph J. *Elements of Electronic Instrumentation and Measurement*. 3rd ed. Upper Saddle River(USA): Prentice Hall, 1995. 594 s. ISBN 0-13-341686-0.
- [5] KRAUSS, Manfred a Eugen-Georg WOSCHNI. *Měřicí informační systémy*. Praha: SNTL Praha, 1981.
- [6] M1-Wire. *maximintegrated.com*. [online]© 2014 Maxim Integrated[cit.201-11-18]. Dostupné z: <http://www.maximintegrated.com/en/products/comms/one-wire.html>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Radovan Hájovský, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

# Prohlášení

*Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením pana  
Ing. Radovana Hájovského, Ph.D*

*Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.*



.....  
Bc. Jiří Pospíšil

Datum odevzdání diplomové práce: 7.5.2015

## Poděkování

*Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu  
Ing. Radovanu Hájovskému, Ph.D za cenné rady a připomínky spojené  
s mou prací.*

*Dále bych rád poděkoval své rodině za jejich podporu ve studiu.*

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a konstrukcí přenosného dataloggeru pro měření důsledků termické činnosti. Součástí práce je i návrh systému pro měření koncentrace oxidu uhelnatého CO a metanu CH<sub>4</sub> komunikujícího po sběrnici 1-wire.

Řešení popsané v této práci vede k funkčnímu návrhu a konstrukci dataloggeru a systému pro měření koncentrace oxidu uhelnatého a metanu.

Součástí práce je i program pro vizualizaci naměřených dat.

## **Klíčová slova**

Datalogger, termická činnost, mikrokontroléry AVR, GPS, FAT16, TGS3870, 1-wire

## **Abstract**

This diploma thesis describes the design and construction of portable data logger for measuring the effects of thermal activity. The work also includes designing the subsystem for measuring the concentration of carbon monoxide and methane, CH<sub>4</sub> communicating over 1-Wire bus.

The solution described in this paper leads to the functional design and construction logger and subsystems for measuring the concentration of carbon monoxide and methane.

The work also includes a program for data visualization.

## **Keywords**

Datalogger, AVR microcontroller, GPS, FAT16, TGS3870, 1-wire

## **Seznam použitých zkratk a symbolů**

PWM – Pulse Width Modulation

RISC – Reduced Instruction Set Computing

DPS – Deska Plošných Spojů

CH<sub>4</sub> – Metan

CO – Oxid uhelnatý

A/D – Analogově Digitální

MCU – MicroController Unit

LSB – Least Significant Bit

MSB – Most Significant Bit

CPU – Central Processor Unit

A/D převodník – Analogově/Digitální převodník

## Obsah

1	Úvod .....	1
2	Teoretická část.....	2
2.1	Datalogger .....	2
2.1.1	Jednouúčelové .....	2
2.1.2	Univerzální .....	2
2.1.3	Analogové .....	3
2.1.4	Digitální.....	3
2.2	Základní popis senzorů a převod neelektrických veličin na elektrické .....	3
2.2.1	Měření teploty .....	4
2.2.2	Měření koncentrace plynů .....	7
2.2.3	Základní vlastnosti oxidu uhelnatého a metanu .....	9
2.3	Komunikační protokoly .....	9
2.3.1	1-wire .....	10
2.3.2	NMEA (komunikace GPS).....	11
2.3.3	SPI - SD karta.....	16
3	Praktická část.....	19
3.1	Návrh a realizace dataloggeru .....	19
3.1.1	Správa napájení (MAX8677) .....	19
3.1.2	Zdroj +5V a 3V3 .....	21
3.1.3	Ostatní části dataloggeru .....	31
3.2	Popis ovládání přenosného dataloggeru .....	35
3.3	Návrh a realizace subsystému pro měření koncentrace plynů oxidu uhelnatého a metanu .....	37
3.3.1	Senzor plynů TGS387 .....	37
3.3.2	Žhavení senzoru .....	39
3.3.3	Popis programu subsystému měřiče koncentrace plynů oxidu uhelnatého a metanu.....	40
3.3.4	Měření koncentrace plynů .....	41
3.3.5	Kalibrace senzoru TGS3870 .....	42
4	Vizualizace naměřených dat.....	46
4.1	Popis vizualizačního programu .....	46
5	Zhodnocení dosažených výsledků.....	49
6	Seznam literatury.....	51
7	Seznam příloh.....	53

# 1 Úvod

Zadáním této diplomové práce je návrh a realizace přenosného dataloggeru pro měření důsledků termické činnosti (teplot a koncentrace plynů).

Datalogger musí disponovat SD kartou pro záznam naměřených dat, 1-wire sběrnici a GPS. Naměřená data jsou taktéž zobrazována na LCD displeji 4x20 znaků. Celý datalogger je poháněn Li-ION baterií, vestavěnou uvnitř přístroje. Proto je do konstrukce zahrnut i nabíjecí obvod, který se stará o baterii. K nabíjení baterie je možno použít výstup USB počítače, kde je nastaven maximální napájecí proud na 500mA. Taktéž je možno použít druhý vstup označený jako DC. Skrze tento vstup můžeme baterii nabít proudem až 2A při napětí 5V. Celý datalogger se ovládá pomocí 4 tlačítek.

Subsystem pro měření koncentrace oxidu uhelnatého a metanu byl navržen s mikrokontrolérem ATmega644, který emuluje 1-wire slave zařízení, tzn., obsahuje vlastní jedinečnou adresu a stejné příkazy jako jiné 1-wire slave zařízení. Díky tomuto může být provozován na sběrnici 1-wire i s ostatními slave zařízeními, jakými jsou teplotní senzory, spínače, aj.

Nasbíraná data, která jsou čtena z SD karty, jsou vizualizována v programu, který byl vyvinut speciálně pro tuto aplikaci.



## **2 Teoretická část**

Zde jsou popsány základní funkce a rozdělení různých typů dataloggerů, principy senzorů, převody neelektrických veličiny na elektrické (plyny a teplota). V neposlední řadě popis komunikačních protokolů

1. 1-wire
2. GPS
3. SPI u SD karty

### **2.1 Datalogger**

Jedná se o samostatně pracující přístroj, který slouží ke sběru dat z externích (interních) snímačů v závislosti na čase. Naměřené hodnoty ze snímačů se ukládají na paměťové médium, kde jsou uložena pro pozdější zpracování.

Jeho použití nachází uplatnění především v analýze chování systémů a sledování digitálních (analogových) veličin.

**Rozlišujeme čtyři základní druhy:**

1. Jednouúčelové
2. Univerzální
3. Analogové
4. Digitální

#### **2.1.1 Jednouúčelové**

Měří a zaznamenává konkrétní veličiny. Mohou disponovat speciálními funkcemi a ovládacími prvky, které přesně slouží dané úloze. Tyto přístroje poskytují více funkcí a jsou levnější než univerzální. Patří sem například termografy, barografy aj.

#### **2.1.2 Univerzální**

Zde není předem znám charakter sledované veličiny, proto vstupy nemohou být přizpůsobeny konkrétním čidlům. Proto jejich vstupy musí disponovat normalizovanými rozsahy, které vyhovují většině snímačů. Dále zde nevíme, s jakou periodou budou měřené veličiny zaznamenávány.

### 2.1.3 Analogové

Taktéž se jim říká zapisovače. Tyto se skládají z pohyblivého pera, hodinového strojku a papíru. Pero je vychylováno v závislosti na velikosti měřené veličiny a zapisuje naměřená data na papír, který posouvá hodinový strojek v závislosti na čase. Výsledná křivka odpovídá průběhu měřené veličiny.

### 2.1.4 Digitální

Obsahují přepínač měřících míst, zesilovač (zeslabovač), AD převodník, paměť pro data, RTC. Vše je připojeno k řídicí jednotce. Data jsou ukládány do paměti (EEPROM, RAM, apod.). Při ukládání hodnoty měřené veličiny se ukládá i časová značka, pomocí níž lze rekonstruovat průběh měřené veličiny.

## 2.2 Základní popis senzorů a převod neelektrických veličin na elektrické

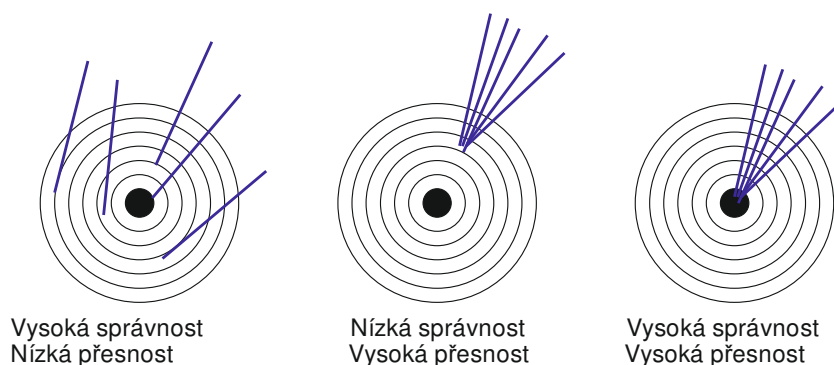
Senzor je zařízení, které snímá požadovanou fyzikální veličinu a tuto potom transformuje na jinou veličinu, nejčastěji elektrickou. Senzor může být vyráběn s různou hustotou integrace elektronických obvodů. Stav měřené fyzikální veličiny snímá čidlo.

**Na senzory jsou kladeny tyto požadavky:**

- I. Lineární závislost výstupní veličiny na veličině vstupní
- II. Vhodný tvar přenosové charakteristiky
- III. Časová stabilita
- IV. Minimální zatěžování měřeného objektu
- V. Spolehlivost senzoru

**Dále senzory rozlišujeme z pohledu informace**

- I. **Správnost:** Porovnání shody, se kterou měřicí systém poskytuje skutečnou hodnotu měřené veličiny
- II. **Přesnost:** Udává rozdíl hodnot, které měřicí systém poskytuje při opakování měření
- III. **Správnost a přesnost**



Obrázek 1: Správnost a přesnost

Mezi nejčastěji užívané senzory patří:

- I. měření polohy, posunutí, .... (geometrické veličiny)
- II. měření rychlosti, otáček, tlak, průtok (mechanické veličiny)
- III. měření teploty (teplotní veličiny)
- IV. koncentrace plynů, pH, ... (chemických veličin)

Praktická realizace měření od snímání fyzikální veličiny až po její řízení je obecně nazýváno měřícím řetězcem.



Obrázek 2: Měřící řetězec

V dnešní době se měření téměř vždy děje elektricky, převodem fyzikální veličiny na elektrickou. Poté se převede do digitální podoby a zpracovává počítačem.

### 2.2.1 Měření teploty

Teplota bývá považována za základní veličinu v oblasti průmyslového měření, protože na její velikosti záleží řada výrobních procesů.

**Dotykové měření** – senzor musí být v těsném kontaktu měřeného objektu, jejíž teplotu má měřit. Zde se využívá přímý přenos tepla mezi dvěma objekty.

**Bezdotykové měření** – senzor je vzdálen od měřeného objektu určitou vzdálenost. Tímto nedochází k vzájemnému ovlivňování. Zde se využívá jevu, kdy každý objekt s určitou teplotou vyzařuje specifickou vlnovou délku (nejčastěji jde o oblast infračervenou).

### **Dotykové senzory**

Nejčastěji se využívá dvou základních fyzikálních principů

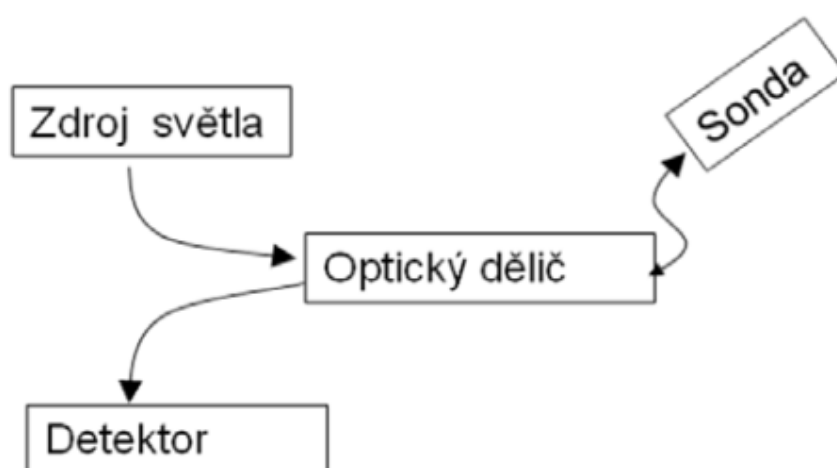
**Pasivní odporové senzory** – měřenou teplotu převedou na změnu odporu

**Aktivní napěťové senzory** – měřenou teplotu převedou na změnu napětí

V poslední době se začínají využívat i jiné principy, jako jsou senzory používající optické vlákno.

### **Optický senzor teploty – bodový**

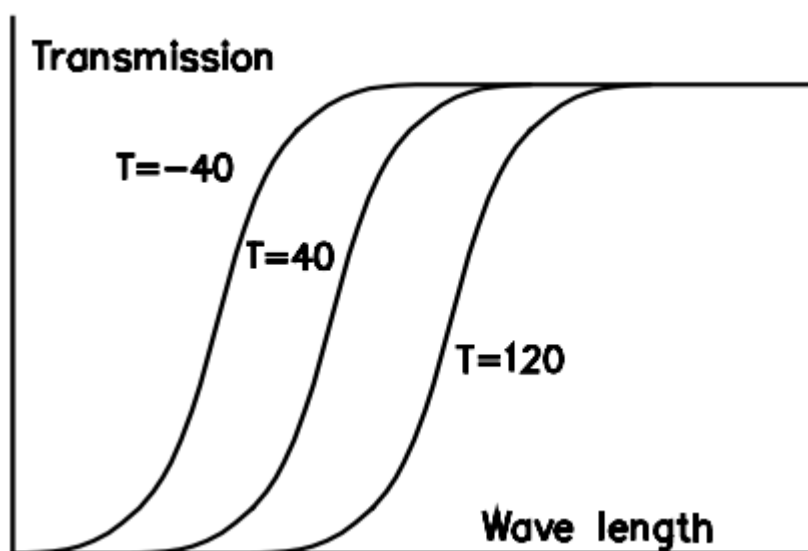
V praxi jsou používány dva principy měření, které vycházejí z velmi podobného základního uspořádání, kdy systém svítí do vlákna a pak se analyzuje světlo, které se po odrazu na sondě vrátí zpět do jednotky.



**Obrázek 3: Uspořádání bodového teplotního senzoru**

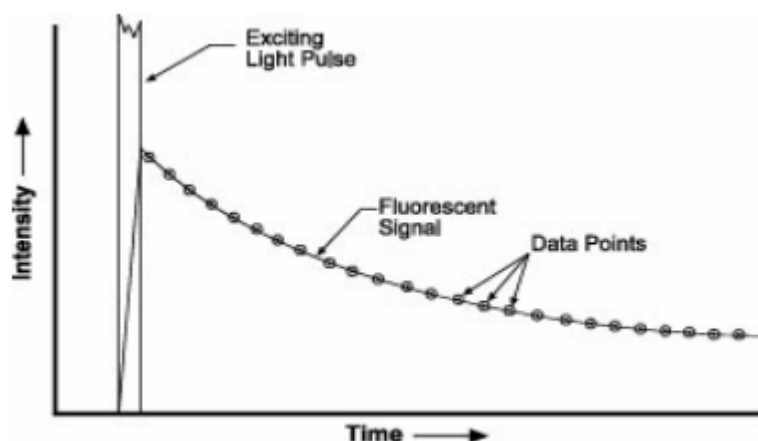
V prvním případě měření, se používá absorpčních vlastností krystalu GaAs. Ten je umístěn na konci optického vlákna. Tento krystal absorbuje určitou část spektra a druhou část propouští. Hrana, která tyto dvě oblasti rozděluje, je přímo závislá na velikosti teplotě.

Výhody: nezávislost na intenzitě záření (útlum vlákna), protože se měří vlnová délka.



Obrázek 4: Princip měření na základě absorpce GaAs

V druhém případě se využívá fluorescence fosforu, který je nanesen na konci optického vlákna, který je přivedeno budící záření a zároveň odvedeno fluorescenční záření zpět do vyhodnocovací jednotky. Takže tato metoda využívá rychlost poklesu fluorescence která je funkcí teploty.



Obrázek 5: Princip měření na základě poklesu fluorescence fosforu

V obou metodách je vlákno použito jen pro přenos signálu. Používají se v průmyslu pro měření teploty vinutí transformátorů.

## **Bezdotykové senzory**

Tohoto principu se využívá všude tam, kde hrozí nebezpečí výbuchu, nebo ve velmi nepřístupných prostorech. Velkou výhodou je měření velmi vysokých teplot (až 3000°C) nebo naopak, velmi nízkých teplot (-200°C). Podle fyzikálního principu je lze rozdělit do dvou skupin:

**Tepelné senzory infračerveného záření** – infračervené termočlánky, pyroelektrické senzory (využívá se ohřátí citlivé části senzoru vlivem infračerveného záření a převodu na elektrický signál).

**Kvantové senzory** – polovodičové infračervené fotodiody (využívá se přímé interakce fotonů s polovodičovým materiálem).

## **2.2.2 Měření koncentrace plynů**

### **Rozdělení detektorů**

- I. Toxikometry – slouží pro měření koncentrace toxických látek v ovzduší
- II. Oxymetry – slouží pro zjišťování koncentrace kyslíku
- III. Explozimetry – slouží pro měření hořlavých plynů
- IV. Radiometry – slouží pro vyhledávání, zjišťování ionizační dávky

### **Základní principy detekce:**

- I. Chemické metody
- II. Fyzikální metody
- III. Optické metody
- IV. Elektroanalytické metody
- V. Separační metody

## **Chemická metoda**

Provádí se pomocí nasávače a detekčních trubiček. Ty slouží k indikaci plynu tím, že změni délku zbarvení speciální vrstvy uvnitř trubičky. Těmto trubicím se občas říká délkové.

## Fyzikální metody

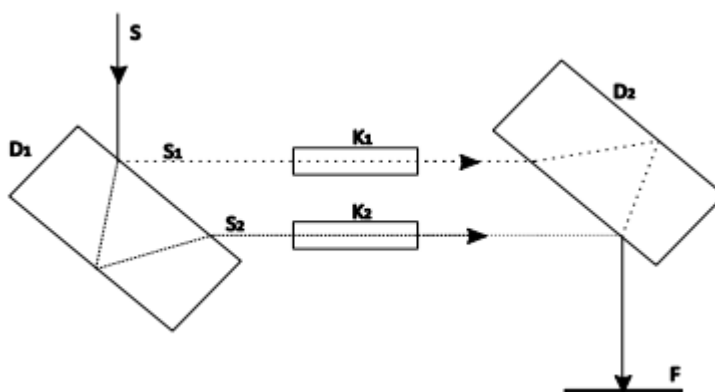
Senzor obsahuje dvě odporové vlákna, které tvoří bočnice wheatstonova můstku. Tyto vlákna jsou pokryté tenkou vrstvou katalyzátoru na bázi platiny. Tato vlákna jsou zahřívána procházejícím proudem na teplotu přibližně 450°C. Na jednom vlákně, k němuž přivedeme zkoumaný plyn probíhá vlastní katalytická reakce měřeného plynu. Druhý plyn, který je neaktivní slouží jen jako srovnávač. Katalytickou reakcí měřeného plynu na aktivním vlákně dojde ke zvýšení teploty, tím se sníží odpor vodivé vrstvy a tímto je vyvolána změna výstupního napětí celého můstku. Toto napětí je zesíleno a dále zpracováváno.

## Optické metody

Zde se využívá změna elektrické vodivosti odporů a porovnává optického prostředí měřeného plynu s prostředím, které neobsahuje daný plyn.

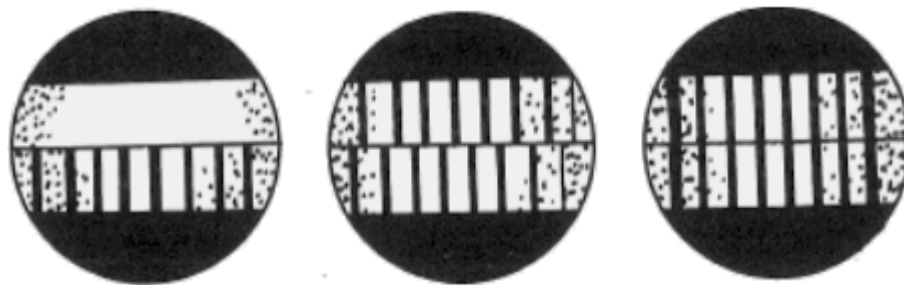
### Jaminův interferometr

Jedná se o přístroj, který je určený k měření refrakce (indexu lomu) plynů na základě pozorování interferencí dvou svazků (obrázek 6).



Obrázek 6: Jaminův interferometr

Je tvořen dvěma rovnoběžnými planoparalelními deskami  $D_1$  a  $D_2$ , které mají stejnou tloušťku, mezi které se vkládají dvě naplněné trubice, z nichž jedna je naplněna známým plynem (látkou se známým indexem lomu), v případě plynů jde o vakuum ( $n=1$ ). V druhé trubici je neznámý plyn. Zorné pole je uvedeno na obrázku č. 7, kde spodní část je nehybná a horní část je pohyblivá soustava interferenčních čar.



Obrázek 7: Zorné pole interferenčního refraktometru

### 2.2.3 Základní vlastnosti oxidu uhelnatého a metanu

Metan, chemický vzorec  $\text{CH}_4$ , je nejjednodušší alkan. Při pokojové teplotě bez zápachu a bez barvy. Je lehčí než vzduch. Hlavní zdroj metanu je zemní plyn. Metan je výbušný plyn, ale meze výbušnosti jsou značně velké, od 4,1 do 15 objemových procent.

Největší využití metanu je v energetice, kde slouží jako palivo. V chemickém průmyslu se používá k výrobě oxidu uhličitého. Při neúplném spalování se užívá k výrobě sazí, které se používají jako barvivo v gumárenském průmyslu.

Oxid uhelnatý, chemický vzorec  $\text{CO}$ , je plyn bez barvy a zápachu. Je lehčí než vzduch a vzniká nedokonalým spalováním všech druhů paliv. Na vzduchu se vzněcuje při  $700^\circ\text{C}$  a shoří na oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ).

Prudce se slučuje s kyslíkem za uvolnění značného množství tepla. Ve směsi se vzduchem, obsahující 12,5 až 74%  $\text{CO}$  vybuchuje.

Oxid uhelnatý je prudce jedovatý, protože znemožňuje přenos kyslíku v krvi. Jeho vazba na hemoglobin je asi 200x silnější než u kyslíku. Odstranění z krve trvá několik hodin až několik dní.

## 2.3 Komunikační protokoly

V této části popisují základní komunikační protokoly, které jsou využívány v mém navrhovaném dataloggeru.

1. 1-wire
2. NMEA (gps)



### 2.3.1 1-wire

Tato sběrnice byla vyvinuta v 90. letech. Jde o asynchronní sériovou dvojvodičovou sběrnici, pomocí níž komunikují jednoúčelové obvody paměti, teploměry, AD převodníky a jiné obvody. Každé zařízení na této sběrnici je vybaveno svojí pevně nastavenou adresou. Díky tomu je možné jednoduše rozeznávat jednotlivé 1-wire obvody.

1-wire sběrnice využívá TTL úroveň a napájení obvodů může být z vnějšího zdroje, nebo použití tzv. parazitního napájení. To využívá elektrické energie impulzů, předávaných po 1-wire sběrnici a akumulované uvnitř daného obvodu pomocí kapacity.

#### Komunikace po 1-wire sběrnici

Sběrnice má jeden řídící obvod (master) a jeden nebo více slave zařízení. Komunikaci zahajuje vždy master reset impulzem. Nejprve nastaví sběrnici do log. 0 a drží tuto úroveň minimálně 480 $\mu$ s. Poté sběrnici nastaví do log. 1 (uvolní ji) a naslouchá. Jestliže je na sběrnici nějaké slave zařízení, detekuje tento reset impuls (vzestupnou hranu) a po krátké prodlevě přibližně 30 $\mu$ s nastaví sběrnici na 60~420 $\mu$ s do log. 0.

Jestliže se zařízení správně ohlásí, může master začít vysílat a přijímat data. Data jsou vysílány v paketech „time slots“. Jeden paket je dlouhý 60 až 120 $\mu$ s a během jednoho paketu je vyslán nebo přijat jeden bit. Mezi jednotlivými pakety musí být min 1 $\mu$ s prodleva, kdy na sběrnici nezapisují.

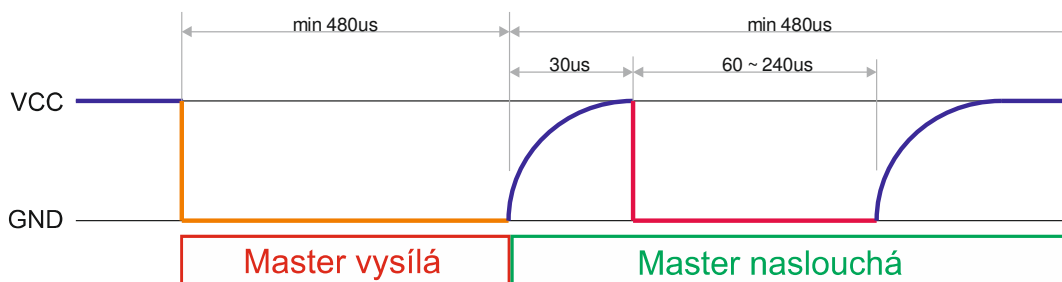
#### Celkem existují 4 pakety:

1. Zápis 1
2. Zápis 0
3. Čtení 1
4. Čtení 0

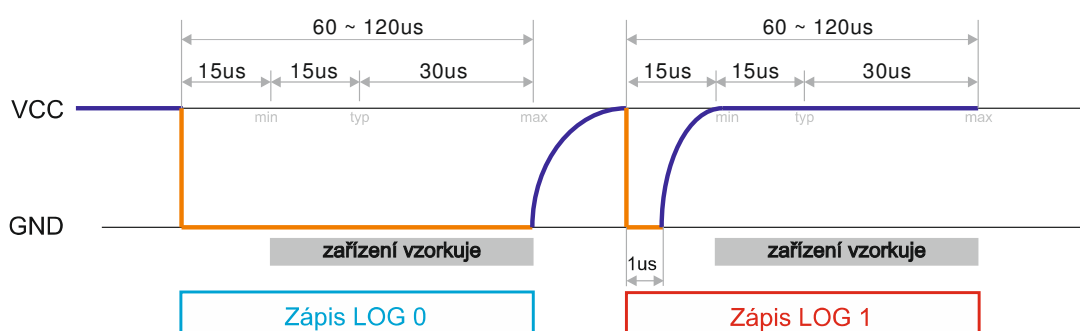
**Zápis 1** – Master nastaví sběrnici do log. 0 na 1 $\mu$ s a nejpozději do 15 $\mu$ s ji nastaví do log. 1 a ponechá tak.

**Zápis 0** – Master nastaví sběrnici do log. 0 a ponechá ji v této úrovni minimálně 60 $\mu$ s.

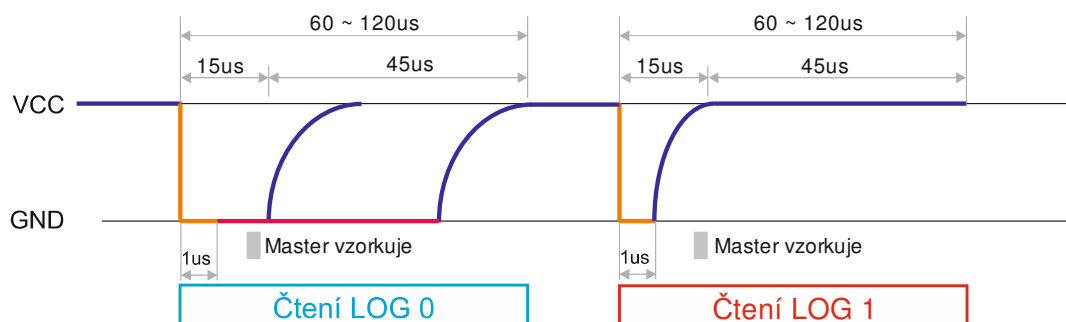
**Čtení 0 a 1** - opět zahajuje master tak, že nastaví sběrnici do log. 0 minimálně na 1 $\mu$ s o poté ji nastaví do log. 1. Po tomto zahájení může slave zařízení vyslat 1 bit. Více na obrázcích.



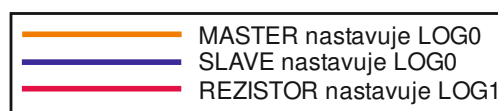
Obrázek 8: Reset pulz



Obrázek 9: Zápis



Obrázek 10: Čtení



Obrázek 11: Legenda

### 2.3.2 NMEA (komunikace GPS)

Zde jsou data posílána ve formě vět (sentences). Jelikož komunikace probíhá po UARTu, nejsou data odesílána jako čísla, ale jsou kódovány pomocí ASCII tabulky a konec komunikace je ukončen znaky ukončení řádku <CR> a <LF>.

<CR> - Carriage return

<LF> - Line feed

Ze získaných dat je možné separovat informace o pozici, rychlosti přijímače, datum, čas, a mnoho dalšího. Každá z vět je uvedena se znakem \$ a ukončena <CR><LF>. Celkem existují tři druhy vět:

1. Věty ze strany mluvčího
2. Proprietární věty
3. Dotazovací věty

### **Věty ze strany mluvčího**

Obecný formát této věty je uveden zde na příkladu. První dvě písmena jsou označena tt, které představují identifikátor mluvčího. Další 3 písmena identifikují větu. Za tímto již následují samotné datové údaje, které jsou mezi sebou odděleny čárkami. Pokud je přidán i kontrolní součet, je uveden znakem hvězdičky a za ní následují dvě hexadecimální čísla, která představují logickou funkci XOR ze všech znaků, počínaje od \$ a konče u \*. Maximální velikost věty je 83 bajtů i se symboly \$ a <CR><LF>.

**Příklad** \$ttsss, d1, d2,.... <CR><LF>

### **Proprietární věty**

Tyto věty umožňují výrobcům GPS zařízení nadefinování vlastních vět. Vždy začínají sekvencí \$P a za nimi následují tři písmena, která identifikují výrobce a poté už jsou uvedena samotná data, která definoval výrobce. Tvar věty ale musí být zachován.

### **Dotazovací věty**

Jedná se o způsob, jak posluchač může od mluvčího žádat konkrétní větu. První znaky tt identifikují žadatele. Následné dva znaky ll označují, komu žádost posíláme. Poslední znak je písmeno Q, které značí, že se jedná o dotazovací větu a poslední tři písmena s určují, o jakou větu žádám.

**Příklad:** \$tlllQ,sss<CR><LF>

**Příklad:** \$CCGPO, GGA<CR><LF>

**Kde:** CC – označení PC, který žádá GPS přijímač (GP) aby zasílal data typu GGA.

Dvoupísmenných identifikátorů je mnoho, zde je uveden krátký příklad:

GP - Global Positioning System receiver

LC - Loran-C receiver

II - Integrated Instrumentation

IN - Integrated Navigation

EC - Electronic Chart Display & Information System (ECDIS)

CD - Digital Selective Calling (DSC)

GL - GLONASS, according to IEIC 61162-1

GN - Mixed GPS and GLONASS data, according to IEIC 61162-1

Jak lze vidět, existuje mnoho způsobů, jak formulovat věty, ale řada různých výrobců používá pouze čtyři typy:

### **GSA – aktivní satelity a DOP (Dilution of Precision)**

**Příklad:** \$GPGSA,A,3,29,26,22,09,07,05,04,,,,,1.7,1.0,1.4\*30

#	formát	příklad	komentář
1	c	A	Přepínání mezi N-rozměrnými módy (A=automatické, M=manuální)
2	d	3	Počet dimenzí N (1=?, 2=2D, 3=3D)
3	dd	29	ID prvního satelitu použitelného pro výpočet
4	dd	26	ID druhého satelitu použitelného pro výpočet
5	dd	22	ID třetího satelitu použitelného pro výpočet
6	dd	9	ID čtvrtého satelitu použitelného pro výpočet
7	dd	7	ID pátého satelitu použitelného pro výpočet
8	dd	5	ID šestého satelitu použitelného pro výpočet
9	dd	4	ID sedmého satelitu použitelného pro výpočet
10	dd	N.A.	ID osmého satelitu použitelného pro výpočet
11	dd	N.A.	ID devátého satelitu použitelného pro výpočet
12	dd	N.A.	ID desátého satelitu použitelného pro výpočet
13	dd	N.A.	ID jedenáctého satelitu použitelného pro výpočet
14	dd	N.A.	ID dvanáctého satelitu použitelného pro výpočet

15	d.d	1,7	PDOP (Position Dilution Of Precision) v metrech
16	d.d	1	HDOP (Horizontal Dilution Of Precision) v metrech
17	d.d	1,4	VDOP (Vertical Dilution Of Precision) v metrech
18	*xx	30	Kontrolní součet

**Tabulka 1: Popis jednotlivých částí GSA**

Zdroj: [1]

## RMC – Minimální doporučená informace pro navigaci

**Příklad:** \$GPRMC,170138.615,A,4912.2525,N,01635.0378,E,0.04,16.43,280705,.\*32

#	formát	příklad	komentář
1	hhmmss.sss	170138,62	Čas (UTC)
2	c	A	Status (A=OK, V=varování)
3	ddmm.mmmm	4912,2525	Zeměpisná šířka
4	c	N	Indikátor sever/jih (N=sever, S=jih)
5	ddmm.mmmm	1635,0378	Zeměpisná délka
6	c	E	Indikátor východ/západ (E=východ, W=západ)
7	d.d	0,04	Vodorovná rychlost (Speed Over Ground, v uzlech)
8	d.d	16,43	Kurz pohybu ve stupních
9	ddmmyy	280705	Datum ddmmyy
10	d.d	N.A.	Magnetická deklinace ve stupních
11	c	N.A.	Indikátor východ/západ (E=východ, W=západ)
12	*xx	32	Kontrolní součet

**Tabulka 2: Popis jednotlivých částí RMC**

Zdroj: [1]

## GSV - Informace o družicích

Tato věta nese informaci o viditelných družicích. Jelikož jedna věta může obsahovat maximálně 83 bajtů, což nám umožní uložit maximálně data čtyř družic. Proto se informace rozděluje do několika vět.

**Příklad:** \$GPGSV,3,1,11,09,84,297,41,05,48,256,45,07,38,059,41,26,22,178,41\*74

#	formát	příklad	komentář
1	d	3	Celkový počet vět (čísly se od 1)
2	d	1	Číslo aktuální věty (taktéž se čísloje od 1)
3	dd	11	Počet viditelných družic
4	dd	9	Identifikační číslo družice

5	dd	84	Úhlová výška, kde se daná družice nachází
6	ddd	297	Azimut, kde se daná družice nachází
7	dd	41	Odstup signálu od šumu (SNR - Signal to Noise Ratio). Je-li tento údaj roven nule, nelze daný satelit využít k výpočtu polohy. Nejčastěji proto, že je zastíněn.
...	...	...	Podle počtu viditelných družic mohou následovat další čtveřice údajů
n	*XX	74	Kontrolní součet

**Tabulka 3: Popis jednotlivých částí GSV**

Zdroj: [1]

## **GGA - zeměpisná délka a šířka, geodetická výška, čas určení souřadnic**

Informují nás o globální poloze.

**Příklad:**

\$GPGGA,170139.615,4912.2526,N,01635.0378,E,1,07,1.0,357.5,M,43.5,M,0.0,0000\*7

D

#	formát	příklad	komentář
1	hhmmss.sss	170139,615	Čas (UTC), pro který platí údaje o vypočtené pozici
2	ddmm.mmmm	4912,2526	Zeměpisná šířka
3	c	N	Indikátor severní/jižní šířka (N=sever, S=jih)
4	dddmm.mmmm	1635,0378	Zeměpisná délka
5	c	E	Indikátor východní/západní délky (E=východ, W=západ)
6	d	1	Indikátor kvality: 0 — nebylo možno určit pozici 1 — pozice úspěšně určena 2 — pozice úspěšně určena (diferenční GPS)
7	dd	7	Počet viditelných satelitů 00 — 12
8	d.d	1	Vliv rozestavení družic na určení polohy HDOP ( <i>Horizontal Dilution of precision</i> )
9	d.d	357,5	Výška antény nad geoidem
10	c	M	Jednotka pro předchozí údaj (č.9) (M=metr)
11	d.d	43,5	Geoidal separation, rozdíl mezi WGS-84 zemským elipsoidem a střední úrovní

			moře (geoid). Znaménko mínus znamená, že střední úroveň země je pod elipsoidem.
12	c	M	Jednotka vzdálenosti pro předchozí položku (č.11) (M=metr)
13	d.d	0	Stáří poslední aktualizace DGPS. Údaj je uváděn v sekundách. Jestliže údaj chybí, nepoužívá se DGPS.
14	dddd	0	Identifikační číslo referenční stanice pro DGPS (0000 — 1023)
15	*xx	7D	Kontrolní součet

**Tabulka 4: Popis jednotlivých částí GGA**

Zdroj: [1]

### 2.3.3 SPI - SD karta

SD karty se ovládají pomocí SPI komunikačního protokolu. Procesor ATmega128 je tímto rozhraním vybaven, proto implementace karty do dataloggeru je vhodná.

Jednotlivé příkazy pro ovládání SD karty mají velikost 6B a jsou rozděleny do tří částí.

bit	Byte 1				Byte 2~5		Byte 6	
	7	6	5	0	31	0	7	0
	0	1	příkaz		argument		CRC	1

**Tabulka 5: 6B komunikační rámec**

#### Byte 1:

První dva bity musí být 0 a 1, následuje 5 dalších bitů, které tvoří příkaz.

#### Byte 2-5:

Argument příkazu

#### Byte 6:

CRC (kontrolní součet)

Každý příkaz má danou odezvu. Odezvy pro SPI jsou rozděleny do tří částí R1, R2, R3.

Byte	Bit	Význam
1	7	Start Bit, vždy LOW
	6	Chyba parametru
	5	Chyba adresy
	4	Vymazat chybu sekvence

	3	Chyba CRC součtu
	2	Nepovolený příkaz
	1	Smazání resetu
	0	Klidový stav

**Tabulka 6: Odezva typu R1**

Byte	Bit	Význam
1	7	Start Bit, vždy LOW
	6	Chyba parametru
	5	Chyba adresy
	4	Vymazat chybu sekvence
	3	Chyba CRC součtu
	2	Nepovolený příkaz
	1	Smazání resetu
	0	Klidový stav
2	7	Mimo rozsah
	6	Vymázání parametru
	5	Ochrana proti zápisu
	4	Card ECC se nezdařilo
	3	Chyba řadiče karty
	2	Nespecifikovaná chyba
	1	Ochrana proti zápisu a mazání
	0	Zámek karty

**Tabulka 7: Odezva typu R2**

Byte	Bit	Význam
1	7	Start Bit, vždy LOW
	6	Chyba parametru
	5	Chyba adresy
	4	Vymazat chybu sekvence
	3	Chyba CRC součtu
	2	Nepovolený příkaz
	1	Smazání resetu
	0	Klidový stav
2.5	všechny	OCR registr, MSB první

**Tabulka 8: Odezva typu R3**



Základní příkazy jsou uvedeny níže. V tabulce 9.

Příkaz	Argument	odpověď	Zkratka	Popis
CMD0		R1	GO-IDLE_STATE	Reset SD karty
CMD1		R1	SEND_OP_COND	Inicializace karty
CMD9		R1	SEND_CSD	vyžádání spec. Data
CMD12		R1	STOP_TRANSMISSION	Zastavení přenosu během čtení více bloků
CMD13		R2	SEND_STATUS	vyžádání status registru
CMD16	[31:0 délka bloku]	R1	SET_BLOCK_LEN	ozn. Délky bloku v bytech pro čtení a zápis
CMD17	[31:0 adresa dat]	R1	READ_SINGLE_BLOCK	přečte blok dat vybraných příkazem CMD16
CMD18	[31:0 adresa dat]	R1	READ_MULTIPLE_BLOCKS	Posílání bloků dat z karty až do zastavení příkazem CMD12
CMD24	[31:0 adresa dat]	R1	WRITE_SINGLE_BLOCK	Zapsání bloku dat vybraných příkazem CMD16
CMD25	[31:0 adresa dat]	R1	WRITE_MULTIPLE_BLOCKS	Zapisování bloků dat z karty až do zastavení příkazem CMD12
CMD32	[31:0 adresa dat]	R1	ERASE_BLOCK_START_ADDR	Nastavení adresy prvního zapsaného bloku k vymazání
CMD33	[31:0 adresa dat]	R1	ERASE_BLOCK_END_ADDR	Nastavení adresy posledního zapsaného bloku k vymazání
CMD38	[31:0 bity věcí]	R1	ERASE_SELECTED_BLOCKS	Vymazání označených bloků
CMD55	[31:0 bity věcí]		APP_CMD	Oznámení dalšího příkazu jako aplikační příkaz
CMD59	[31:1 bity věcí],[0:0], CRC nastavení	R1	CRC_ON_OFF	Vypnutí CRC: 1 - ON; 2 - OFF

**Tabulka 9: Popis příkazů karty v SPI módu**

Zdroj: [2]

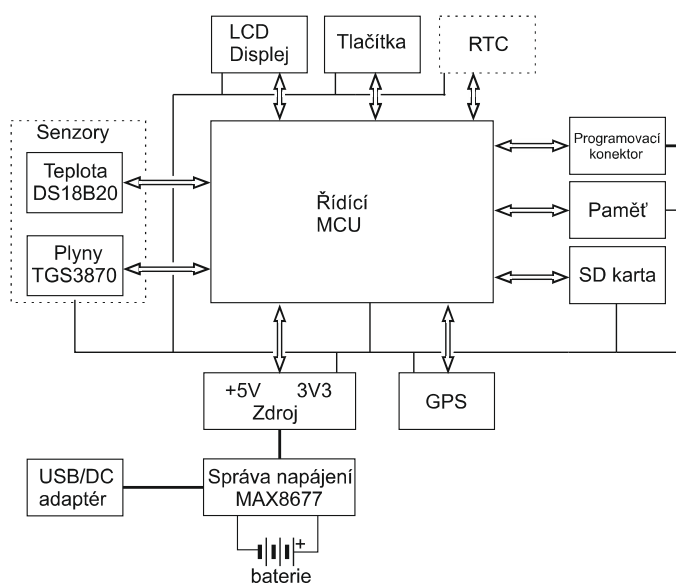
### 3 Praktická část

V tomto odstavci je popsán návrh a realizace přenosného dataloggeru pro monitorování důsledků termické činnosti a jeho subsystém pro měření koncentrace oxidu uhelnatého a metanu, který komunikuje po sběrnici 1-wire

#### 3.1 Návrh a realizace dataloggeru

Na obrázku 12 je znázorněno blokové schéma celého dataloggeru, který byl rozdělen do několika samostatných částí:

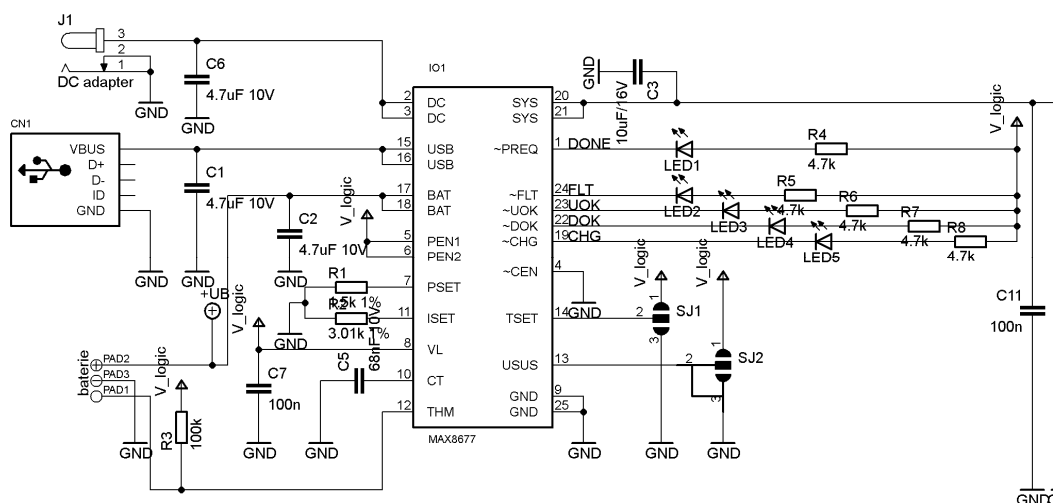
1. správa napájení,
2. DC-DC měnič
3. Ostatní části dataloggeru



Obrázek 12: Blokové schéma dataloggeru

##### 3.1.1 Správa napájení (MAX8677)

Ke správě napájení celého dataloggeru byl vybrán integrovaný obvod MAX8677 od firmy Maxim Integrated. Tento obvod disponuje velmi malou vlastní spotřebou, dvěma nabíjecími vstupy, kterými lze nastavit maximální nabíjecí proud a ochranou proti přebíjení baterie.



Obrázek 13: Schéma správy napájení

Na obrázku 13 je uvedeno základní schéma správy napájení. Pomocí externích součástek byl nastaven maximální nabíjecí proud USB na 500mA a 1,5A u DC vstupu.

V tabulce 10 je základní popis jednotlivých pinů integrovaného obvodu MAX8677.

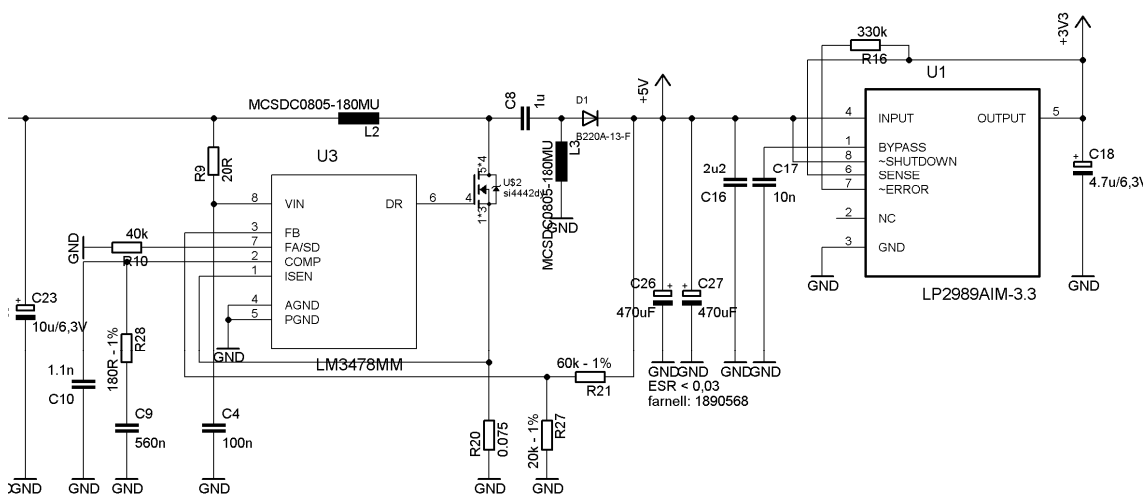
Název pinu	Popis
DC	připojení DC adaptéru. Pomocí něj jsme schopni do výstupu SYS dodávat až 2A. Proudové omezení se nastavuje pomocí pinů PEN1 a PEN2.
CEN	Vstup povolení nabíjení baterie (LOW). Při vysoké úrovni se baterie nabíjet nebude.
PEN1	Pokud je v log 1 je proud z DC nastaven jako 3000/RPSET
PEN2	Pokud je PEN2 ve vysoké úrovni udává, že max. proud z USB je 500mA.
PSET	Pomocí rezistoru na tomto pinu nastavujeme max. vstupní proud DC adaptéru.
VL	Tento výstup je defaultně nastaven na 3V3 pro napájení externích součástek. Max. proud je 10mA.
CT	(Charge Time) – nastavuje rychlé nabíjení (tFSTCHG).
ISET	Nastavení nabíjecího proudu až do hodnoty 1,5A.
THM	Vstup pro termistor. GND zakáže tento vstup.
USUS	Povolení nebo zakázání USB vstupu.
USB	Napájení skrze USB.
BAT	Připojení baterie
CHG	Nabíjecí stav
SYS	(System Supply Output). Pokud není připojeno napájecí napětí, je skrze vnitřní obvody připojen k baterii.
DOK	pokud je detekován DC vstup je výstup aktivní

UOK	pokud je detekován USB vstup je výstup aktivní
FLT	pokud je nabíjeno kompletní je výstup aktivní

Tabulka 10: Popis vývodů MAX8677

### 3.1.2 Zdroj +5V a 3V3

Protože displej potřebuje pro svůj provoz napětí 5V, byl navržen DC-DC měnič, který využívá moderní integrovaný obvod od firmy Texas Instruments LM3478. Jedná se o SEPIC DC-DC měnič, jehož návrh je uveden v samotné kapitole níže.



Obrázek 14: Schéma SEPIC měniče se stabilizátorem

Na obrázku 14 je schéma napájecí části celého dataloggeru. Jedná se o zapojení DC-DC měniče s LDO (low drop output) stabilizátorem na 3,3V, který napájí:

1. SD kartu
2. GPS

### SEPIC DC-DC měnič

SEPIC – Single Ended Primary Inductance Converter, neboli jednostranná primární indukční cívka. Tento typ měniče umožňuje získat na výstupu větší, menší nebo stejné napětí jako je na vstupu měniče. Výstupní napětí SEPIC měniče je řízeno pomocí tranzistoru (na principiálních schématech označen jako S).

Tento typ měniče se podobá topologii BUCK-BOOST měniče. Od něj se liší především v izolaci mezi vstupem a výstupem (toto zajišťuje kondenzátor v sérii).

Tento typ měniče se hojně využívá v bateriově poháněných zařízeních, protože například Li-ION baterie má v nabitém stavu 4,2V a ve vybitém 3V. Pokud potřebujeme napětí 3,3V, je tato struktura pro napájení těchto obvodů vhodná.

### **Výhody SEPIC**

- výstupní napětí, které může být větší, nebo menší než napájecí napětí.
- lze je zapojit i bez zátěže, aniž bychom zničili spínací prvek
- proud odebíraný z napájecího zdroje je spojitý (tudíž odrušení je snadnější)

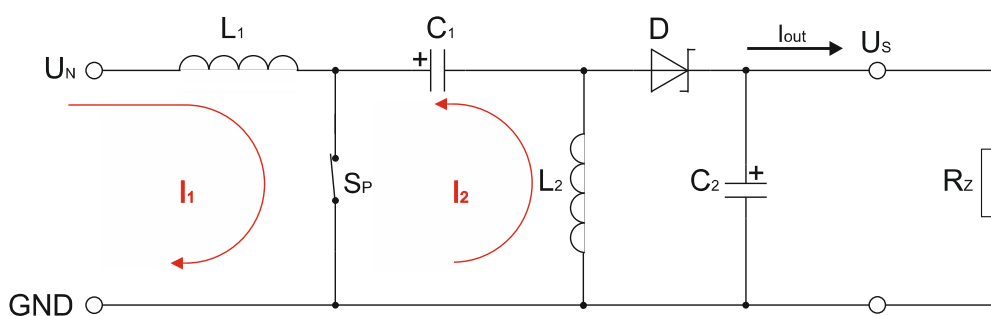
### **Nevýhody SEPIC**

- Nevýhoda může spočívat v potřebě dvou indukcí.

Podobně jako u spínaných zdrojů, SEPIC měniče vyměňují energii mezi kapacitou a dvěma induklemi pro převod z jednoho napětí na druhé napětí jiné velikosti. Velikost vyměněné energie ovládá spínač S1 (běžně tranzistory MOSFET).

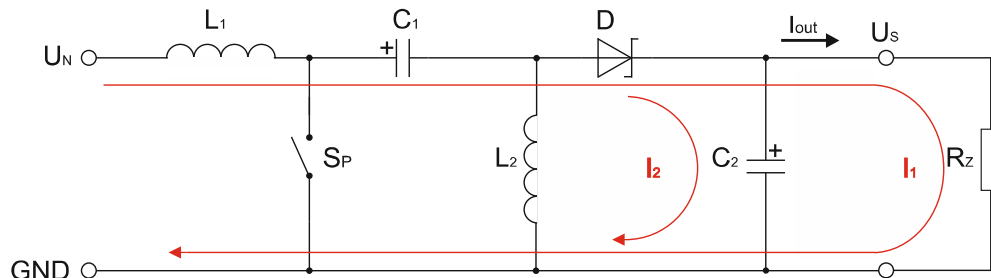
### **Funkce je možno rozdělit do dvou fází.**

1. Fáze (interval  $T_a$ ) viz obrázek 15, ukazuje, že je spínač  $S_P$  sepnut a skrze indukčnost  $L_1$  protéká proud  $I_1$ , který lineárně roste. Dioda je v tomto intervalu pólována v závěrném směru a do zátěže  $R_Z$  je proud dodáván z kondenzátoru  $C_2$ . Přes kondenzátor  $C_1$ , který slouží jako zdroj, v cívce  $L_2$  se vytváří energie zvyšujícím proudem  $I_2$ . Kondenzátor  $C_1$  se sepnutým spínačem tvoří spolu s indukcí  $L_2$  tlumený rezonanční obvod. Jestli je interval  $T_a$  dlouhý, může se na něm měnit polarita. Bude-li doba sepnutí  $S_P$  krátká, můžeme použít elektrolytický kondenzátor  $C_1$ , jinak je vhodnější použít kondenzátor keramický.



Obrázek 15: Fáze Ta

2. Fáze (interval Tb), jehož principiální schéma je uvedeno na obrázku 16. Spínač  $S_P$  je zde rozepnut. Kondenzátor  $C_1$  je nabíjen proudem  $I_1$  skrze indukčnost  $L_1$ . Určitá část tohoto proudu teče do zátěže  $R_Z$ . V momentě, kdy spínač rozepneme je proud  $I_2$  stejný, jako proud kondenzátorem  $C_2$ . To je způsobeno tím, že cívka neumožňuje nespojitě změny proudu. Dle prvního Kirchhoffova zákona platí pro proud diodou  $D$ , induktorem  $L_2$  a kondenzátorem  $C_1$  rovnice  $I_D = I_{C1} + I_{L2}$ . Ale z předchozího intervalu je proud indukčností  $L_2$  záporný, proto je proud diodou  $I_D = I_{C1} - I_{L2}$ . Z toho je jasné, že proud  $I_2$  je proud indukčnosti  $L_2$ . Tento proud se přičte k proudu  $I_1$ , který vybíjí výstupní kondenzátor  $C_2$  a teče do zátěže.



Obrázek 16: Fáze Tb

**Z rovnosti energií lze odvodit převod [3]:**

$$I_1 = \frac{1}{L} \int_0^{T_a} (U_N) dt = \frac{1}{L} U_N \cdot T_a \quad (1)[3]$$

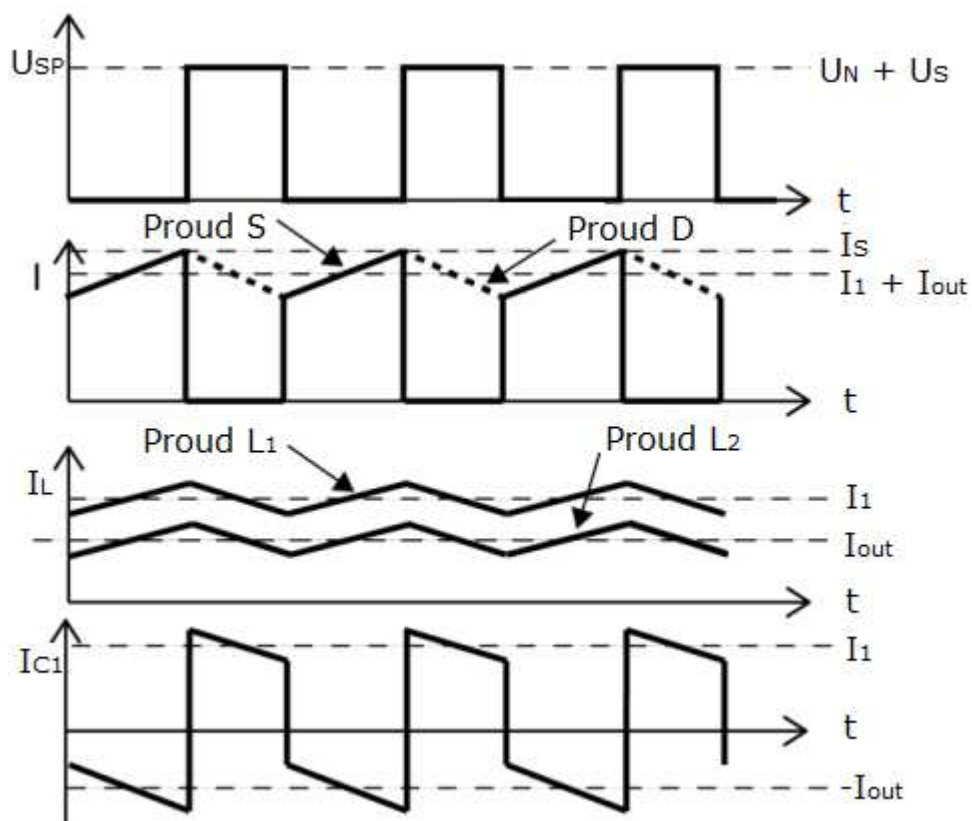
$$I_2 = \frac{1}{L} \int_0^{T_b} (U_S) dt = \frac{1}{L} U_S \cdot T_b \quad (2)[3]$$

$$\frac{1}{L} U_N \cdot T_a = -\frac{1}{L} U_S \cdot T_b \quad (3)[3]$$

$$U_S = \frac{U_N(T_a + T_b)}{T_b} \quad | T_c = T_a + T_b \quad (4)[3]$$

$$U_S = U_N \frac{T_a}{T_b} = U_N \cdot M \quad | M = \frac{D}{1-D} \quad (5)[3]$$

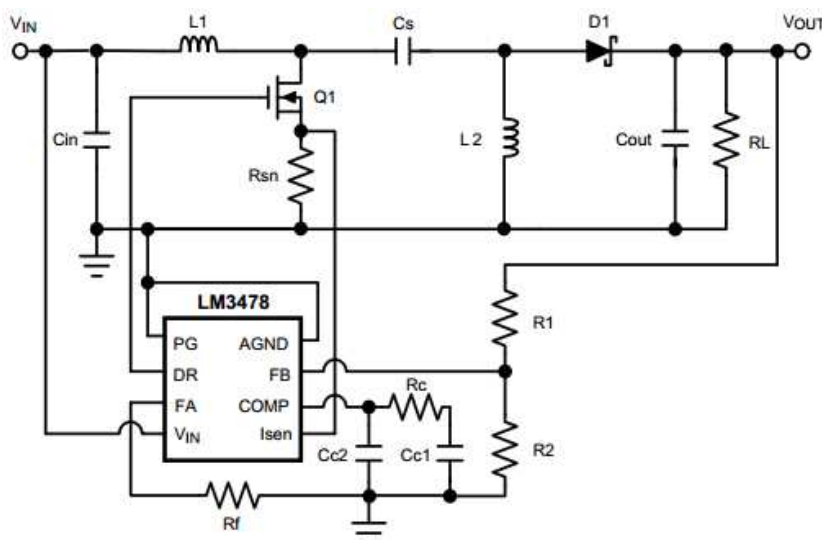
Z rovnic je vidět, že výstupní napětí je kladné. Jeho velikost je v závislosti na střídě  $D$  vyšší nebo nižší než napájecí napětí. Takže jestliže střída  $D$  bude 50%, tak výstupní napětí bude  $U_S = U_N$ .



Tabulka 11: Průběhy napětí a proudů na SEPIC DC-DC měniči [4]

## Výpočet SEPIC měniče s LM3478

V této kapitole je popsán návrh a kompletní výpočet DC-DC Sepic měniče, založeným na integrovaném obvodu LM3478.



Obrázek 17: Základní zapojení SEPIC měniče [5]

Výstupní napětí 5V		
Vstupní napětí max	3	V
Vstupní napětí min	6	V
Výstupní proud max	0,5	A
Spínací frekvence	330	kHz

Tabulka 12: Základní požadavky na SEPIC měniče

### 1. Výpočet střídý

Předpokládám, že  $V_D = 0,5V$

$$D_{\max} = \frac{U_{out} + U_D}{U_{in(\min)} + U_{out} + U_D} = \frac{5 + 0,5}{3 + 5 + 0,5} = 0,647$$

$$D_{\min} = \frac{U_{out} + U_D}{U_{in(\max)} + U_{out} + U_D} = \frac{5 + 0,5}{6 + 5 + 0,5} = 0,478$$

(6)[5]

### 2. výpočet parametrů induktorů

Zvlnění proudu na L1 je:

$$\Delta I_L = I_{out} \cdot \frac{U_{out}}{U_{in(\min)}} \cdot 40\% = 0,5 \cdot \frac{5}{3} \cdot 0,4 = 0,34A$$

(7)[5]

Indukce cívek L1 a L2 je:



$$L1 = L2 = L = \frac{U_{in(min)}}{\Delta I_L \cdot f_s} \cdot D_{max} = \frac{3}{0,34 \cdot 330k} \cdot 0,647 = 0,0000173 \cong 18\mu H \quad (8)[5]$$

Nejmenší použitelná hodnota indukčnosti je 4,7μH

Špičkový proud indukčností L1 je:

$$I_{L1(peak)} = I_{out} \cdot \frac{U_{out} \cdot U_D}{U_{in(min)}} \cdot \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 0,5 \cdot \frac{5+0,5}{3} \cdot 1,2 = 1,1A \quad (9)[5]$$

Špičkový proud indukčností L2 je:

$$I_{L2(peak)} = I_{out} \cdot \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 0,5 \cdot 1,2 = 0,6A \quad (10)[5]$$

### 3. Výpočet parametrů výkonového MOSFET tranzistoru

Špičkový proud tranzistorem je:

$$I_{Q1(peak)} = I_{L1(peak)} + I_{L2(peak)} = 1,1 + 0,6 = 1,7A \quad (11)[5]$$

Efektivní hodnota proudu je:

$$I_{Q1(RMS)} = I_{out} \cdot \sqrt{\frac{(U_{out} + U_{in(min)} + U_D) \cdot (U_{out} + U_D)}{U_{in(min)}^2}} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{(5+3+0,5)(5+0,5)}{3^2}} = 1,14A$$

Jmenovité napětí pro drain MOSFETU musí být vyšší než  $V_{in}+V_{out}$ . Je vybrán MOSFET SI4442DY ( $R_{DS(ON)} = 8 \text{ m}\Omega$  and  $Q_{GD} = 10 \text{ nC}$ ). Řídící proud  $I_G$  z LM3478 je 0,3A.

Výkonová ztráta je přibližně:

$$P_{Q1} = I_{Q1(RMS)}^2 \cdot R_{DS(ON)} \cdot D_{max} + (U_{in(min)} + U_{out}) \cdot I_{Q1(peak)} \cdot \frac{Q_{GD} \cdot f_s}{I_G} =$$

$$= 1,14^2 \cdot 8m \cdot 0,647 + (3+5) \cdot 1,7 \cdot \frac{10n \cdot 330k}{0,3} = 0,16W \quad (12)[5]$$

### 4. Výběr diody

Závěrné napětí diody musí být větší než  $V_{in}+V_{out}$  a průměrná hodnota proudu diodou je rovna výstupnímu proudu plnému zatížení.

### 5. SEPIC vazební kondenzátor

Efektivní hodnota proudu  $C_s$  je:

$$I_{CS(RMS)} = I_{out} \cdot \sqrt{\frac{U_{out} + U_D}{V_{in(min)}}} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{5+0,5}{3}} = 0,677A \quad (13)[5]$$

Zvlnění napětí je:

$$\Delta U_{CS} = \frac{I_{out} \cdot D_{max}}{C_S \cdot f_S} = \frac{0,5 \cdot 0,647}{3\mu \cdot 330k} = 0,32V \quad (14)[5]$$

Je vybrán 3μF keramický kondenzátor. (paralelní kombinace 3 kondenzátorů 1μ)

## 6. Výběr výstupního kondenzátoru

Efektivní hodnota proudu kapacitorem je:

$$I_{Cout(RMS)} = I_{CS(RMS)} = 0,677A \quad (15)[5]$$

Za předpokladu, že zvlnění peak-to-peak je 1% z 5V, ESR kapacitou je:

$$ESR \leq \frac{U_{ripple} \cdot 0,5}{I_{L1(peak)} + I_{L2(peak)}} = \frac{0,02 \cdot 5 \cdot 0,5}{1,1 + 0,6} = 0,015\Omega \quad (16)[5]$$

A kapacita je:

$$C_{out} \geq \frac{I_{out} \cdot D_{max}}{U_{ripple} \cdot 0,5 \cdot f_S} = \frac{0,5 \cdot 0,647}{0,01 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 330k} = 39\mu F \rightarrow 47\mu F \quad (17)[5]$$

## 7. Proud vstupní kapacitou

$$I_{Cin(RMS)} = \frac{\Delta I_L}{\sqrt{12}} = \frac{0,34}{\sqrt{12}} = 0,098A \quad (18)[5]$$

## 8. Zpětnovazební rezistor, hodnota rezistoru snímajícího proud a rezistor nastavující frekvenci

$$V_{REF} = 1,26V$$

$$R1 = 60k\Omega$$

$$R2 = \frac{V_{REF}}{V_{out} - V_{REF}} \cdot R1 = \frac{1,26}{5 - 1,26} \cdot 60k = 20,213k\Omega \cong 20k\Omega \quad (19)[5]$$

$$R_{sn} = \frac{130mV}{I_{Q1(peak)}} = \frac{130m}{1,7} = 0,0764\Omega \cong 0,075\Omega \quad (20)[5]$$

## 9. Návrh kompenzace

$$f_{RHPZ} = \frac{(1 - D_{max})^2 \cdot U_{out}}{2\pi \cdot D_{max} \cdot L2 \cdot 0,5 \cdot I_{out}} = \frac{(1 - 0,647)^2 \cdot 5}{2\pi \cdot 0,647 \cdot 18\mu \cdot 0,5 \cdot 0,5} = 34058Hz \cong 34kHz \quad (21)[5]$$

Můžeme vidět „závadu“ na rozsahu rezonanční frekvenci tvořené Cs a L2

$$f_R = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L2 \cdot C_S}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{18\mu \cdot 3\mu}} = 22kHz \quad (22)[5]$$

$f_c$  frekvence je nastavena na 1 šestinu z frekvence  $f_{RHPZ}$  nebo  $f_R$ , podle toho která je nižší.

$$f_c = \frac{f_R}{6} = \frac{22k}{6} = 3,7kHz \quad (23)[5]$$

Části  $C_{C1}$ ,  $C_{C2}$  a  $R_C$  tvoří kompenzační síť, která má jednu nulu na  $\frac{1}{2\pi R_C \cdot C_{C1}}$ , jeden pól

v počátku a další pól na  $\frac{1}{2\pi R_C \cdot C_{C2}}$

$$V_{REF} = 1,26V$$

$$R_C = \frac{2\pi \cdot f_c \cdot C_{out} \cdot U_{ouz}^2 \cdot (1 + D_{max})}{G_{CS} \cdot G_{ma} \cdot V_{REF} \cdot V_{in(min)} \cdot D_{max}} = \frac{2\pi \cdot 3,7k \cdot 47\mu \cdot 5^2 \cdot (1 + 0,647)}{91 \cdot 800\mu \cdot 1,26 \cdot 3 \cdot 0,647} = 250\Omega \quad (24)[5]$$

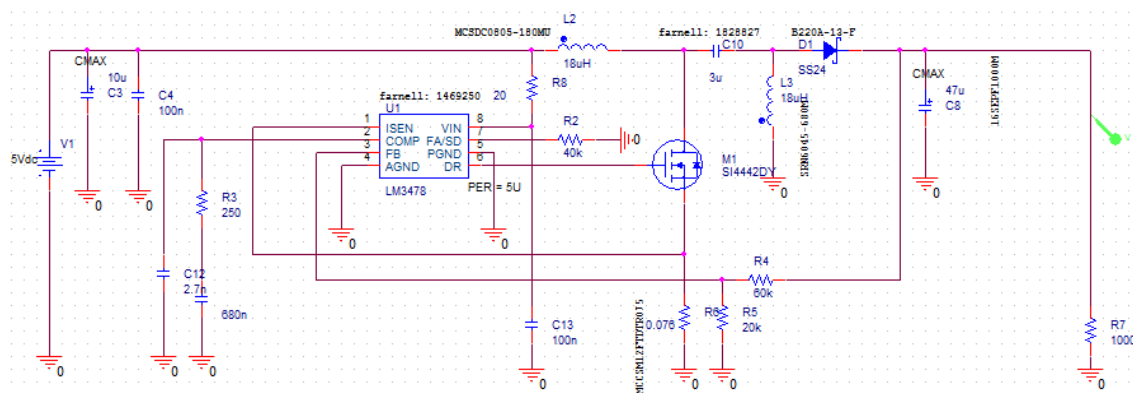
Výpočet  $C_{C1}$

$$C_{C1} = \frac{4}{2\pi \cdot f_c \cdot R_C} = \frac{4}{2\pi \cdot 3,7k \cdot 250} = 688nF \approx 680nF \quad (25)[5]$$

Výpočet  $C_{C2}$

$$C_{C2} = \frac{C_{out} \cdot ESR}{R_C} = \frac{20\mu \cdot 0,03}{167} = 2,82nF \approx 2,7\mu F \quad (26)[5]$$

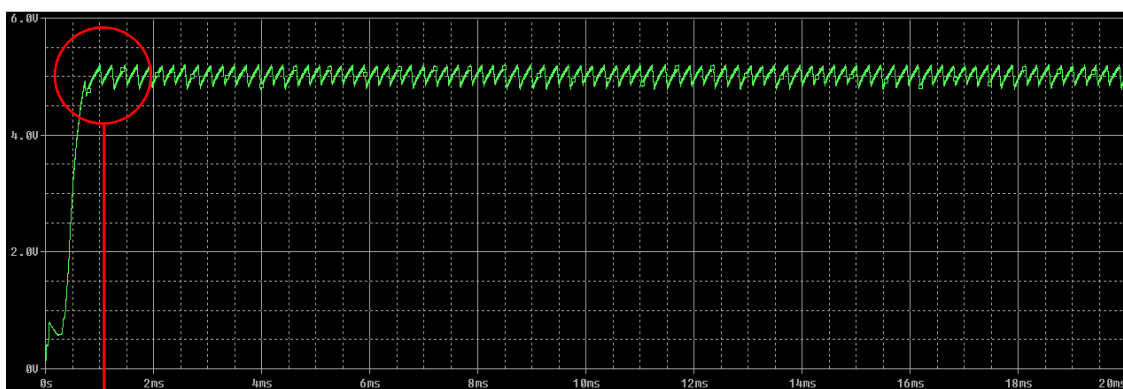
## Ověření výpočtu SEPIC měniče simulací v programu OrCAD



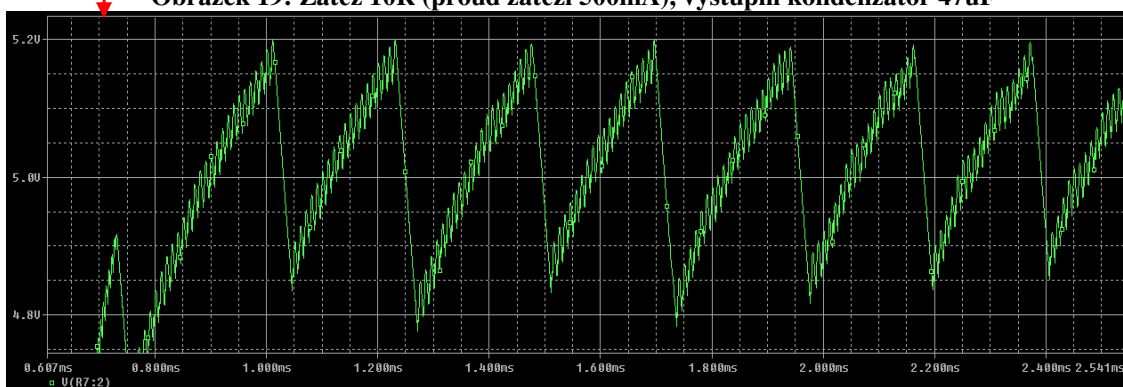
Obrázek 18: Schéma zapojení v programu OrCAD

Změnou rezistoru  $R7$  měníme výstupní proud podle vztahu  $I = \frac{U_{out}}{R7}$  (27)

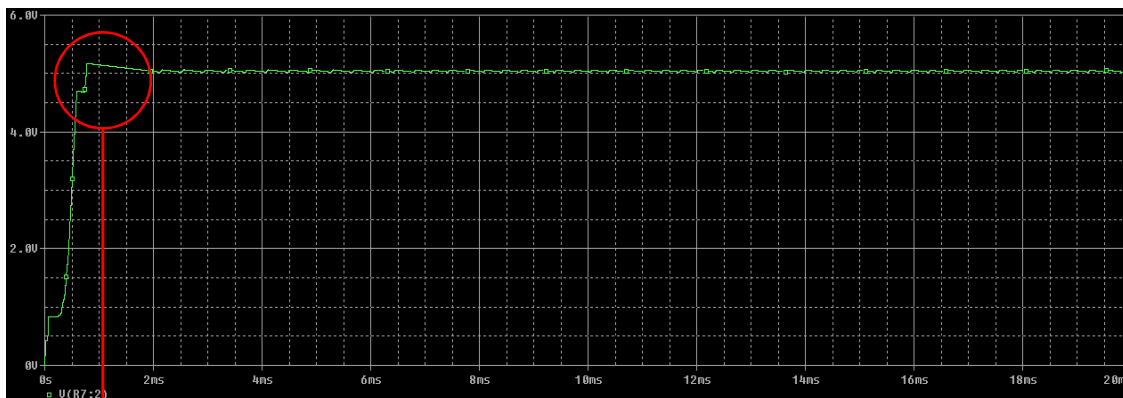
Průběhy napětí na Rezistoru  $R7$



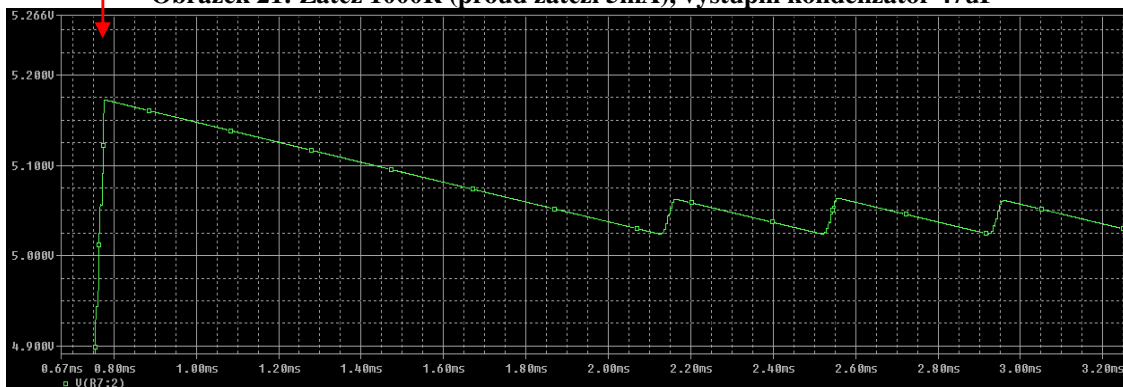
**Obrázek 19: Zátěž 10R (proud zátěží 500mA), výstupní kondenzátor 47uF**



**Obrázek 20: Detail obr. 14**

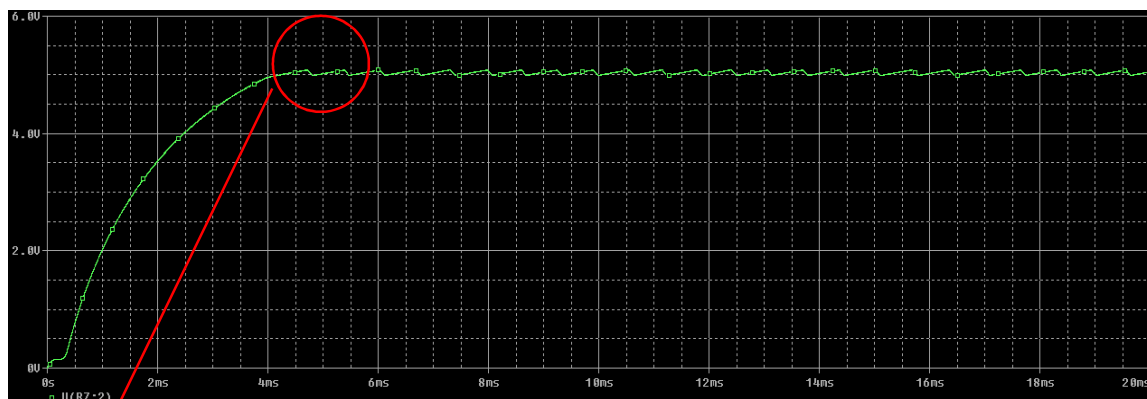


**Obrázek 21: Zátěž 1000R (proud zátěží 5mA), výstupní kondenzátor 47uF**

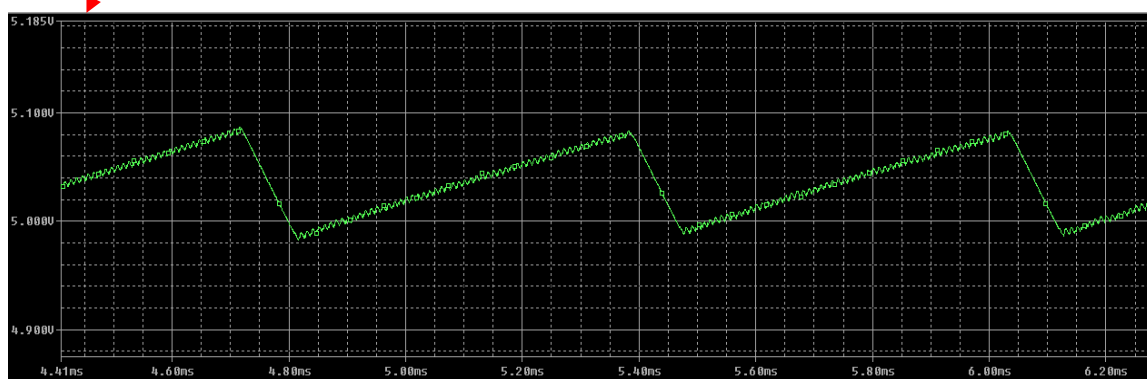


**Obrázek 22: Detail obr. 16**

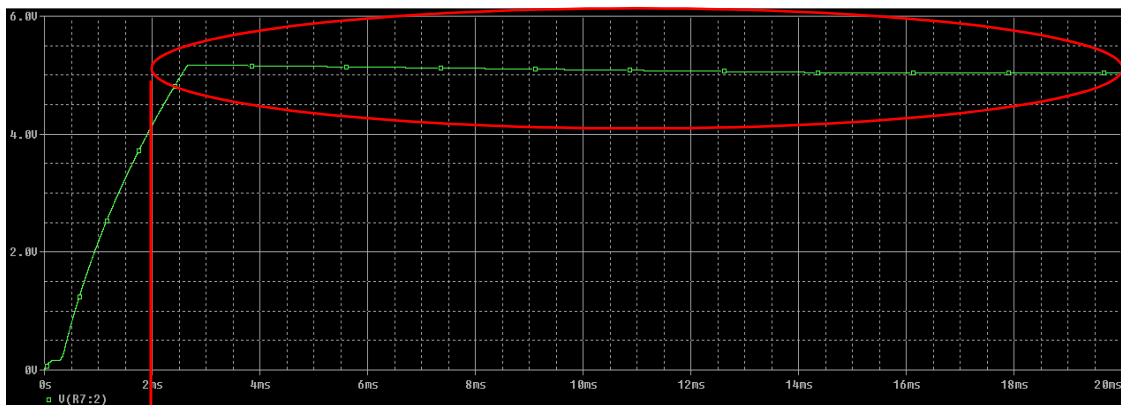
Na obrázcích 19 a 20 můžeme vidět, že výstupní napětí není konstantní, ale je zvlněné. Za to může výstupní kapacita, která byla vypočtena na hodnotu  $47\mu\text{F}$ . Jestliže kapacitu zvýšíme, můžeme vidět rapidní zlepšení výstupního napětí viz. obrázky 25 a 26.



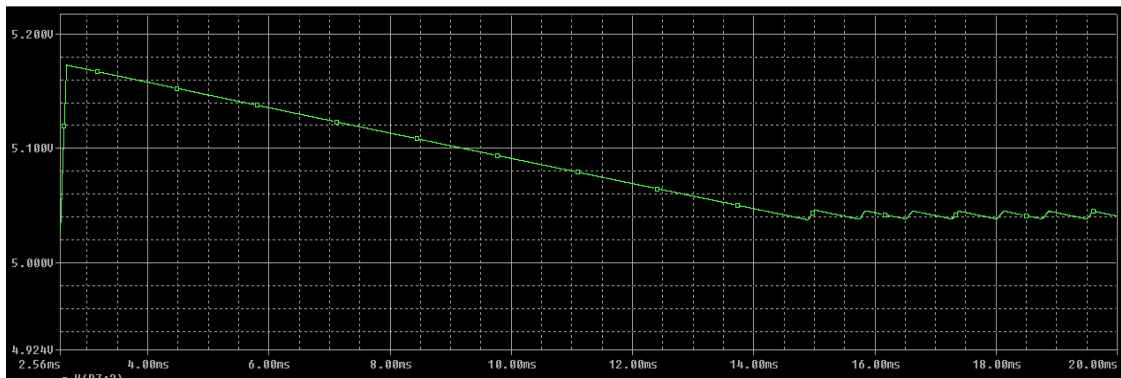
**Obrázek 23: Zátěž 10R (proud zátěží 500mA), výstupní kondenzátor 470uF**



**Obrázek 24: Detail obr. 18**



Obrázek 25: Zátěž 1000R (proud zátěží 5mA), výstupní kondenzátor 470uF



Obrázek 26: Detail obr. 20

### 3.1.3 Ostatní části dataloggeru

V této části jsou vysvětleny menší části dataloggeru, mezi které patří:

1. MCU (mikrokontrolér) ATmega128
2. GPS
3. Teplotní senzor DS18B20

#### MCU

ATmega128 je osmibitový mikrokontrolér RISC harvardské architektury. Jeho přibližná rychlost je 1 MIPS při frekvenci hodinového krystalu 1MHz (to znamená, že většinu instrukcí provádí během jednoho strojového cyklu).

Při výběru jsou důležité tyto parametry

- výpočetní výkon
- velikost programové a datové paměti
- počet vstupních a výstupních portů

- dostupnost vnitřních periferních obvodů
- dostupnost vývojového softwaru

Mikroprocesor ATmega128 je vybaven JTAG programovacím rozhraním, což umožňuje efektivně odlaďovat program, ale také sériové programovací rozhraní ISP. Na desce dataloggeru jsou vyvedeny obě programovací rozhraní (ISP i JTAG), takže si uživatel při upgradování firmwaru může zvolit, jaký přístup zvolí.

### **Základní vlastnosti mikrokontroléru**

- 128kB programová FLASH
- 4kB EEPROM
- 4 kB statická RAM
- Možnost připojení externí 64kB paměti
- Dva 8b čítače/časovače s předděličkou
- Dva 16b čítače/časovače s předděličkou
- Možnost funkce RTC s odděleným oscilátorem
- Dva 8b kanály s PWM
- 10b AD převodník

### **GPS**

GPS u dataloggeru slouží k přidání přesného času měření, informace o poloze měření a taky data.

Hlavním parametrem GPS byla velikost modulu a integrace vlastní antény. Proto byla vybrána GPS od firmy Maestro Wireless, nese označení A2235-H. GPS-modul má nízkou spotřebu maximálně 22mA. Rozměr GPS modulu je přibližně 17x17mm. Pomocí externích součástek nastavujeme základní parametry GPS modulu, kde bylo nastaveno:

1. UART rychlost 9600Baudů

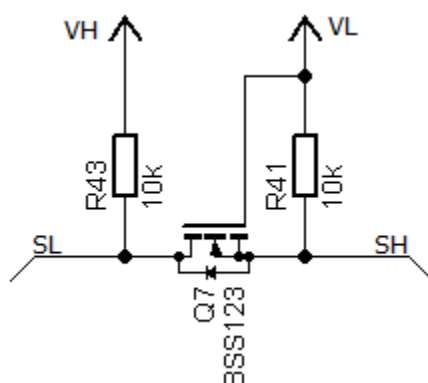
pin	Funkce	popis
nRST	vstup	Reset GPS, aktivní v nízké úrovni
VCC_3V3	napájení	napájení GPS v rozmezí 3.0 ~ 3.6 VDC
WAKEUP	output	LOW = Off, HIGH = ON; připojeno k ON_OFF = vlastní režim
Vout	výstup	Napěťový výstup z interního LDO 1,8V (max 20mA)
GPI6 (SPI CLK)		Připojením 10k rezistoru k Vout zapneme UART mód; Otevřením možnost SPI komunikace
GPIO7 (SPI_CS)		Nezapojen nastavuje UART komunikace; 10k pulldown komunikace po I2C
ANT_EXT	Vstup pro Anténu	Připojení antény Z=50Ohm
VANT	Napájení	Napájení antény (Až 5,0V DC)
ANT_SW	vstup	LOW = interní anténa; HIGH = externí anténa
HOST I2C_CLK	vstup	CLOCK I2C pouze pokud modul pracuje v I2C režimu
TM_GPIO5	výstup	1s pulzy
I2C CLK	I/O	Konfigurace baud rate, připojení 2k2 k Vout pro 4800 (více viz tabulka)
I2C DIO	I/o	Konfigurace rychlosti BAUD, připojení 2k2 k Vout pro 4800 (více viz tabulka)
On_OFF	Input	Povinné připojit k push-pull výstupu! Defaultně nízká úroveň
ExtINT	Vstup	Přerušení pro MEMS rozhraní. Pokud jej nevyužíváme, připojit ke GND.
TX0	Výstup	Výstup komunikace (podle nastavení - UART, SPI,...)
RX0	Výstup	Vstup komunikace (podle nastavení - UART, SPI,...)

Tabulka 13: Základní popis vstupů a výstupů GPS

### Přizpůsobení napěťových úrovní

GPS a SD karta jsou jediné dva obvody, které pro svoji činnost potřebují napětí 3V3. Aby zařízení mohlo komunikovat obousměrně a zároveň se nezničilo, bylo potřeba komunikační linky (GPS – UART; SD karta – SPI) upravit na požadované napěťové hladiny. K tomu slouží jednoduchý převodník, jehož schéma je na obrázku 27 se dvěma rezistory a jedním tranzistorem MOSFET.





**Obrázek 27: Napěťové komunikační přizpůsobení**

Pokud ani jedna strana nic nevysílá, jsou obě strany v logické jedničce (díky pull-up rezistorům). Rozdíl napětí mezi vývody Source a Gate je blízké nule a tranzistor je uzavřen.

Pokud pravá strana (3V3) začne komunikovat (uzemní linku SL), tak rozdíl napětí mezi vývody Source a Gate tranzistoru se zvětší a tranzistor se otevře. Tím pádem se logická nula objeví i na pravé straně.

Jakmile ale levá strana uzemní linku SH, dioda mezi Source a Drain tranzistoru způsobí, že se napětí mezi Source a Gate zvětší a tranzistor se otevře. Tímto způsobem se na pravé straně objeví logická nula.

## **Teplotní senzor DS18B20**

Jedná se o teplotní čidlo od firmy Maxim Integrated. Je vybaveno digitálním výstupem, proto není nutné používat další externí převodníky.

### **Technické parametry DS18B20**

Rozsah měřené teploty:  $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$

Maximální odchylka teploty:  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  v rozsahu  $-10^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$

Napájení:  $+3\text{V} \sim +5,5\text{V}$

Formát dat teploty: 9~12bit

Komunikace: 1-WIRE

### 3.2 Popis ovládání přenosného dataloggeru

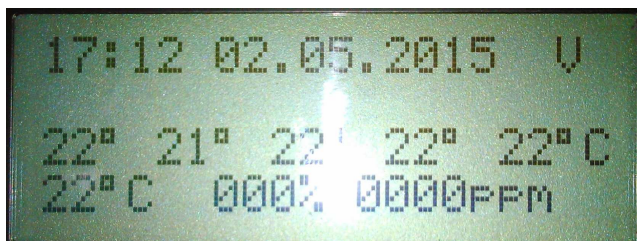
Po zapnutí dataloggeru, jsme vyzváni ke stisku tlačítka TL2 „zapni GPS“, kterým aktivujeme GPS. Toto nám ukazuje obrázek 28. Automaticky, bez našeho vědomí začalo inicializační měření, které se po odměření zobrazí na LCD (obrázek 29).



Obrázek 28: Tlačítkem aktivuj GPS

Po krátké době (30 sekund) by se mělo na displeji objevit :

1. Řádek: čas, datum, platnost dat
2. Řádek: nic
3. Naměřené teploty
4. Naměřená teplota a koncentrace plynů



Obrázek 29: Obrazovka s načtenými daty

Protože má subsystém pro měření koncentrace plynů značný odběr, tak po zapnutí přístroje změří hodnotu koncentrace pouze jednou a potom ji měří až po stisku příslušného tlačítka TL3 „koncentrace“.

Měření teploty se opakuje každých 10s.

Pokud je na displeji (v pravém horním rohu) zobrazeno písmeno V, znamená to, že GPS nemá ještě platná data (pozice není načtena vůbec) a čas a datum nemusí být pravdivé. Takže pokud bychom nyní uložili data, jsme v režimu „manuálního měření“ a pozice GPS budou nahrazeny nulami.

Jakmile se na displeji objeví písmeno A, znamená to, že data jsou aktuální a platná. A automaticky jsme přešli do módu „Automatického měření“.



Obrázek 30: Automatický režim

Po stisku tlačítka TL4 „ulož“ se data uloží na SD kartu. Na SD kartě se vytvoří nový soubor, který se jmenuje podle aktuálního data, měsíce a roku (například 210315.txt). Pokud už soubor stejného jména existuje, je otevřen a data jsou do něj připsována.

O průběhu ukládání jsme informováni na druhém řádku, na kterém se může objevit:

1. Zapsano...
2. Chyba OPAKUJ
3. SDkarta nepripojena

**Kde:**

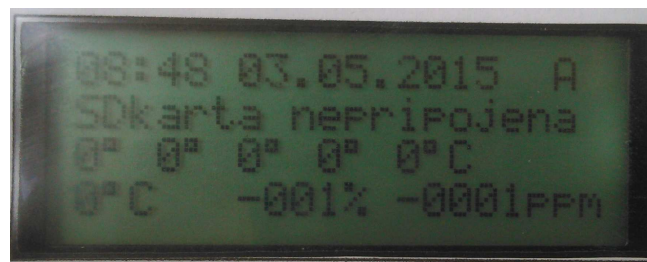
- **Zapsáno** znamená, že údaj byl úspěšně zapsán na SD kartu
- **Chyba OPAKUJ** znamená, že data na SD kartu nebyly zapsána. Buďto má karta špatný formát nebo se zápis nepodařil z jiného důvodu.
- **SDkarta nepripojena** nám říká, že není vložena SD karta.



Obrázek 31: Úspěšně zapsána data



Obrázek 32: Výskyt chyby při zápisu



Obrázek 33: Indikace nepřítomnosti karty

Pokud byl údaj úspěšně zapsán na SD kartu, tak se 2. řádek LCD displeje po dvou sekundách smaže a můžeme zapisovat znovu.

Pokud na SD kartu není zrovna zapisováno, můžeme ji kdykoli odpojit aniž bychom museli datalogger vypnout.

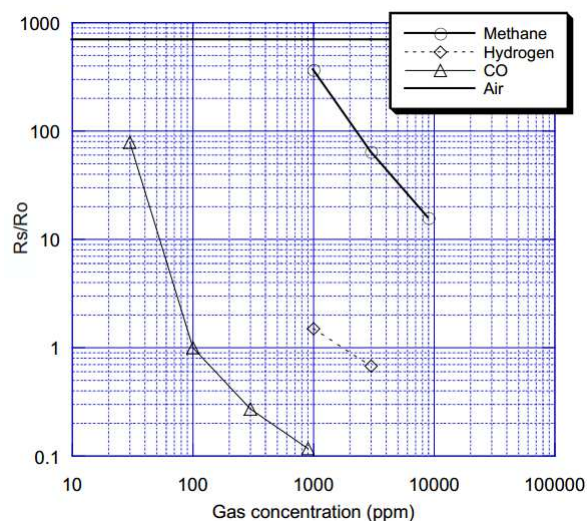
Pokud jsou data na displeji zobrazeny ve formátu jako na obrázku 33, tak to znamená, že nejsou připojeny žádné senzory.

### 3.3 Návrh a realizace subsystému pro měření koncentrace plynů oxidu uhelnatého a metanu

V této části bude popsána problematika kolem návrhu a výroby subsystému pro měření koncentrace metanu a oxidu uhelnatého. Emulace 1-wire slave zařízení.

#### 3.3.1 Senzor plynů TGS387

Jedná se o kombinovaný polovodičový senzor plynů metan a oxid uhelnatý. Je málo citlivý na jiné plyny a alkoholové výpary, proto je určen pro celou škálu měření od průmyslu až po domácnost. Citlivost senzoru TGS3870 je uveden na obrázku 34.



Obrázek 34: Závislost odporu senzoru TGS3870 na koncentraci plynů

## Specifikace senzoru

Pouzdro obsahuje celkem 3 vývody. Pin 1 je společný (GND), pin 2 snímací elektroda a pin 3 žhavicí vlákno.

### Rozsah měření:

Metan > 500~12500ppm

Oxid uhelnatý > 50~1000ppm

**Napájecí napětí:**  $5,0 \pm 0,2V$  DC/AC

### Napětí vlákna:

VHH =  $0,9V \pm 3\%$ , 5sec

VHL =  $0,2V \pm 3\%$ , 15sec

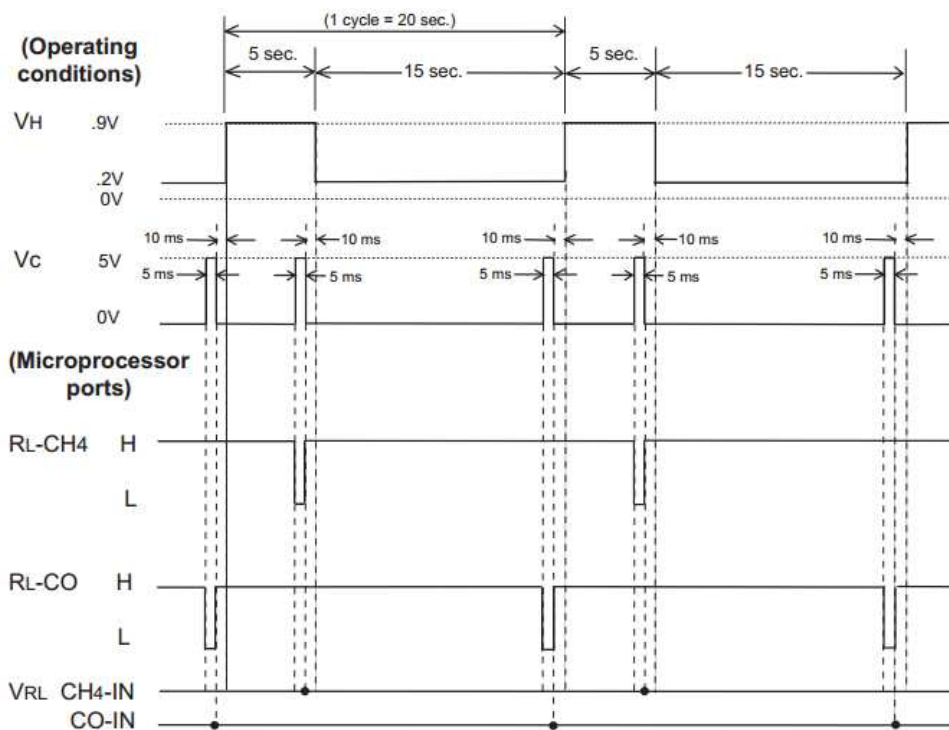
## Princip měření

Senzor vyžaduje dva napěťové vstupy:

1. Zahříváč vlákna VH
2. Napájecí napětí VC

Pro konstantní měření je doporučeno, zahřívání vlákna 0,9V a 0,2V střídavě aplikováno během 20s intervalu. Napětí (VC) se přivede mezi zbylé piny senzoru (RS) a zatěžovací rezistor (RL), které jsou spojeny do série pro měření napětí VRS).

Napájecí napětí (VC) by mělo být přivedeno v okamžiku, kdy je signál měřen. Více napoví obrázek 35.



Obrázek 35: Průběh měření na senzoru TGS3870 [6]

### 3.3.2 Žhavení senzoru

Přesnost tohoto senzoru je přímo závislá na přesnosti hodnoty žhavicího napětí. Proto byl experimentálně navrhnut digitální I regulátor, který žhavicí napětí udržuje na požadované hodnotě, jehož časová konstanta byla zvolena experimentálně.

Samotné žhavení je realizováno pomocí PWM o frekvenci 10kHz.

#### Ukázka I regulátoru v jazyku C

```

/*I regulátor*/
e_aktualni = pozadovana - Reg;    //regulacni odchylka
hodnota = OCR1A + (e_aktualni * Ki);    //Ki = 0,08 hodnota v #define
if (hodnota < 0){ hodnota = 0; }    //registr OCR1A nelze plnit zapornymi cisly
if (hodnota >= MAX_PWM){ hodnota = MAX_PWM; }    //Maximalni dovolena hodnota PWM
OCR1A = hodnota;    //update pwm

```

### 3.3.3 Popis programu subsystému měřiče koncentrace plynů oxidu uhelnatého a metanu

Protože má být subsystém měřiče koncentrace plynů připojen na 1-wire sběrnici k ostatním senzorům, bylo zapotřebí, aby se choval podobně jako 1-wire slave zařízení. Tzn., že měl svoji vlastní adresu, obsahoval stejné příkazy, které obsahují i jiné 1-wire zařízení.

Proto byl subsystém měřiče koncentrace oxidu uhelnatého a metanu navržen s mikroprocesorem ATmega644P, který emuluje 1-wire slave zařízení a zajišťuje samotné měření.

Příkazy, které lze nyní na subsystému vykonávat jsou:

**0x44** – změří hodnoty koncentrací plynů

**0xBE** – vyčítání jednotlivých koncentrací

První 2 Byte - hodnota oxidu uhličitého v ppm

Druhé 2 Byte - hodnota metanu v %

**0xFE** – zařízení odešle svoji adresu.

Adresa zařízení je: **0x12, 0xA2, 0xD9, 0x84, 0x00, 0x00, 0x02, 0xEA**

Zařízení nepodporuje parazitní napájení, proto musí být vždy zapojeno tří vodičově.

#### Popis emulace 1-wire zařízení na mikrokontroléru ATmega644

Nejdůležitější je správná inicializace mikrokontroléru.

1. Pin 1-wire sběrnice musí být připojen na zdroj externího přerušení (u ATmega644 pin INT0 / D2)
2. Povolení přerušení od vstupního pinu
3. Přerušení od TIMERO



Program je navržen tak, že pokud je na 1-wire sběrnici klid, je mikrokontrolér v režimu spánku. Jakmile je linka uvedena do provozu, mikrokontrolér se probudí a začne kontrolovat data na sběrnici. Jakmile MASTER odešle například příkaz, že všechna zařízení mají začít měřit, tak navržený SLAVE vykoná tuto část, kdy odměří koncentraci plynu a opět se uspí.

Navržený kód lze jednoduše implementovat i na jiné typy mikroprocesorů (PIC, FREESCALE, atd.). Nejjednodušší to ovšem je mezi procesory Atmel rodiny AVR, kdy lze kód použít jen s drobnými úpravami v inicializaci (ověřeno na ATmega644 a ATmega128).

### 3.3.4 Měření koncentrace plynů

Před měřením koncentrace plynů, musíme zajistit správné zhavení senzoru. Nejpresnější výsledky jsou 10 až 15ms před koncem měření. Pokud bychom tuto dobu nedodrželi, naměřená data nelze použít. Při samotném měření musí být k senzoru připojen správný zatěžovací odpor.

1. oxid uhelnatý -  $R_L = 3k\Omega$
2. metan –  $R_L = 1k\Omega$

#### Ukázka měřicího řetězce v jazyku C

```
void merime_plyny(){
    /*Zhavici napeti se nastavi na 900mV*/
    if ((cas <= 3) && (provedeno == 0)){//cas<5001,216ms zhaveni 900mV
        pozadovana = DEVSET_MV;
        /*zmeri se teplota pro kompenzaci*/
        i = gSensorIDs[0][0]; // family-code for conversion-routine
        DS18X20_start_meas( DS18X20_POWER_PARASITE, NULL );
        _delay_ms( DS18B20_TCONV_12BIT );
        provedeno++; //aby prosla dalsi podminka 1
    }
    /*Pokud bude promenna cas = 1217 (tak to odpovida casu 4984,832ms*/
    if ((cas >= 1217) && (provedeno == 1)){
        pripoj_DMUX_2Y2(); //pripoji zatez 1k
        _delay_us(500);
        provedeno++; //2
    }
    /*Zde od minula uplynulo 4,096ms + 0,5ms*/
    if ((cas >= 1218) && (provedeno == 2)) {
        CH4 = konverze_ADC(0);
        CH4 = konverze_ADC(0);
        CH4 = konverze_ADC(0);
        odpoj_DMUX();
        provedeno++; //3
    }
}
```



```

/*Po uplynutí času 5001,216ms se aktivuje zhavení 200mV */
if ((cas >= 1221) && (provedeno == 3)){
    pozadovana = DVESTE_MV;
    provedeno++; //4
}
/*Zde bude cas roven 19984,384ms*/
if ((cas >= 4879) && (provedeno == 4)){
    pripoj_DMUX_2Y1(); //pripoji zatez 3k3
    provedeno++; //5
}
/*od minuleho casu uplynulo 4,096ms*/
if ((cas >= 4880) && (provedeno == 5)){
    CO = konverze_ADC(0);
    CO = konverze_ADC(0);
    CO = konverze_ADC(0);
    odpoj_DMUX();
    provedeno++; //6
}
/*Po uplynutí času 20000,768ms odpoji zhavici napeti a vymaze promenne*/
if ((cas >= 4883) && (provedeno == 6)){
    /*zde vymažeme promenne*/
}
}

```

Z kódu je patrné, že data z AD převodníku jsou 3x změřena. To je z toho důvodu, že první dva vzorky měření nemohou být použity, protože obsahují chybné údaje, viz datasheet ATmega644p.

### 3.3.5 Kalibrace senzoru TGS3870

Kalibrace byla provedena v plynové komoře (obrázek 36). Do této komory se umístí navržený subsystém, a přesný měřicí přístroj (iBrid MX6) a naplní se vhodným plynem.



Obrázek 36: Kalibrační komora

Pro toto měření byl vyvinut speciální program pro MCU, který neustále měřil hodnotu napětí na výstupu senzoru. Toto napětí bylo přepočítáno na hodnotu  $R_S$  podle vzorce:

$$R_S = \frac{V_{RS} - 0,5V_H}{V_C - V_{RS}} R_L \quad (28)$$

**Kde:**

$V_{RS}$  – napětí změřené na zátěži  $R_L$

$V_H$  – žhavicí napětí

$V_C$  napájecí napětí senzoru

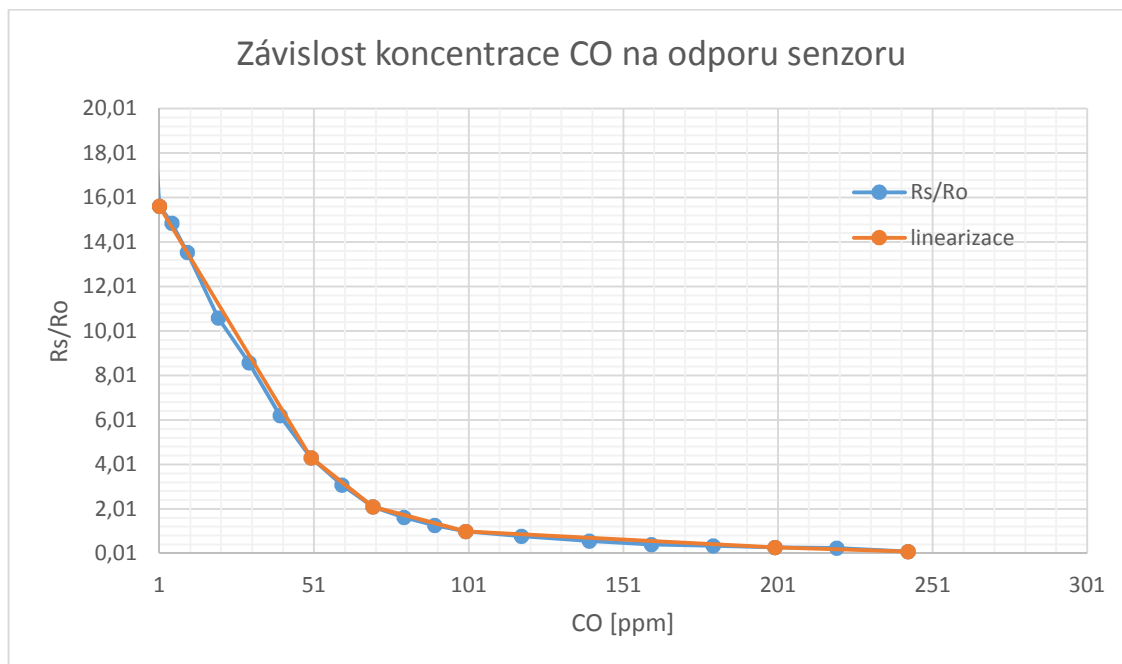
$R_L$  – zatěžovací odpor

Z vypočtených hodnot odporů senzorů byl stanoven odpor  $R_O$  (odpor senzoru při přesně dané hodnotě koncentrace plynů a teplotě 25°C).

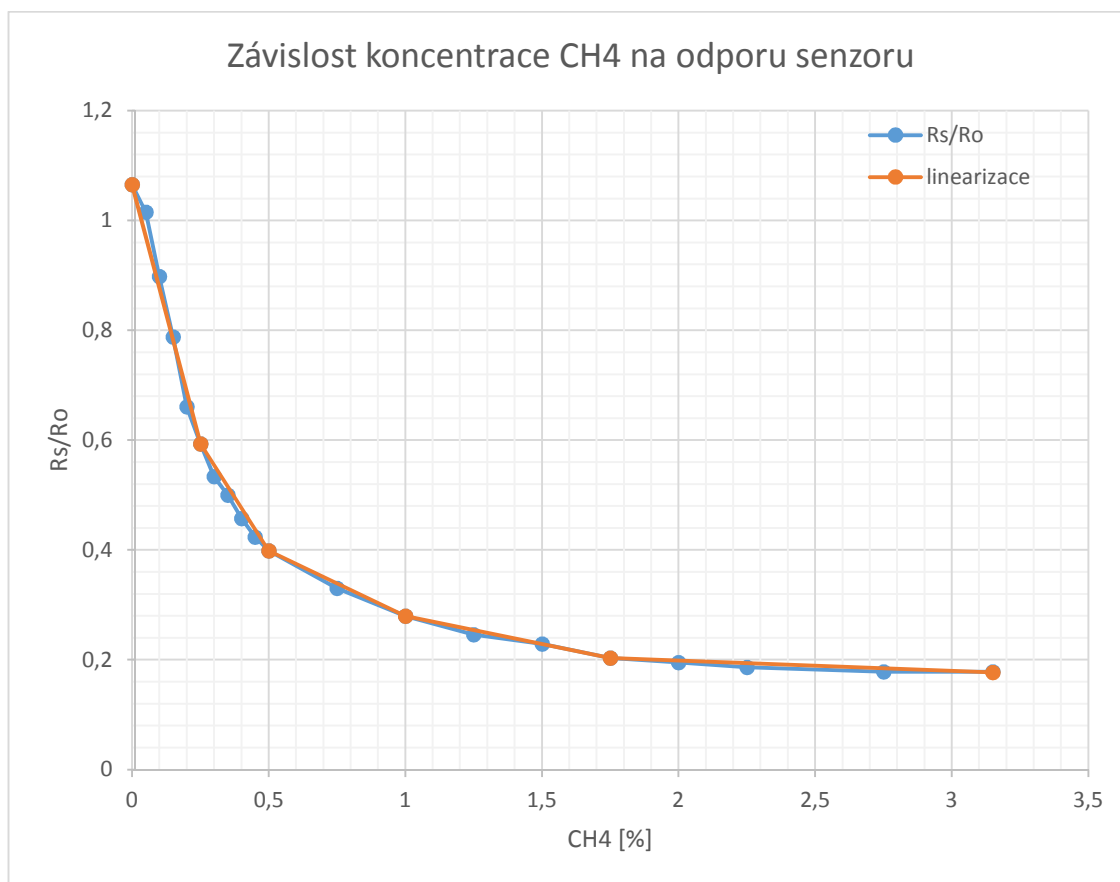
Pro metan je hodnota  $R_O = 118\Omega$

Pro oxid uhelnatý je hodnota  $R_O = 967\Omega$

Nyní byly všechny hodnoty  $R_S$  použity k výpočtu poměru  $R_S/R_O$  a vykresleny grafy.



**Obrázek 37: Graf závislosti koncentrace CO a poměru  $R_S/R_O$**



**Obrázek 38: Graf závislosti koncentrace  $CH_4$  a poměru  $R_s/R_o$**

Oba grafy (obrázky 37 a 38) a jejich modré průběhy jsou značně nelineární. Proto bylo nutné charakteristiku linearizovat.

Proto bylo třeba tyto charakteristiky vhodně proložit několika přímkami tak, aby co se nejvíce přizpůsobila kalibrační křivce.

Zlinearizované charakteristiky jsou zobrazeny v obrázcích 37 a 38 (červené průběhy).

Výpočet kalibračních konstant a celkové hodnoty koncentrace se provede podle rovnice přímky (29)

$$y = ax + b \quad (29)$$

Podle zvolených přímek na zlinearizovaných charakteristikách zvolíme počáteční a koncové body přímky.

Například na zlinearizované charakteristice oxidu uhelnatého zvolíme:

**Od:**  $R_s/R_o = 15,6235\Omega$  -> koncentrace CO = 1ppm

**Do:**  $R_s/R_o = 4,306\Omega$  -> koncentrace CO = 50ppm

Z těchto bodů určíme rovnice přímk a vytvoříme soustavu rovnic o dvou neznámých (30) (31).

$$15,6235a + b = 1 \quad (30)$$

$$4,306a + b = 50 \quad (31)$$

Vyřešením soustavy rovnic dostáváme konstanty a & b (32) (33).

$$a = -4,33 \quad (32)$$

$$b = 68,7 \quad (33)$$

Vypočtené hodnoty dosadíme do rovnice přímky y (34):

$$x_{ppm} = -4,33 \frac{R_s}{R_o} + 68,7 \quad (34)$$

Toto provedeme pro ostatní linearizační přímky a v programu doplníme výpočet.

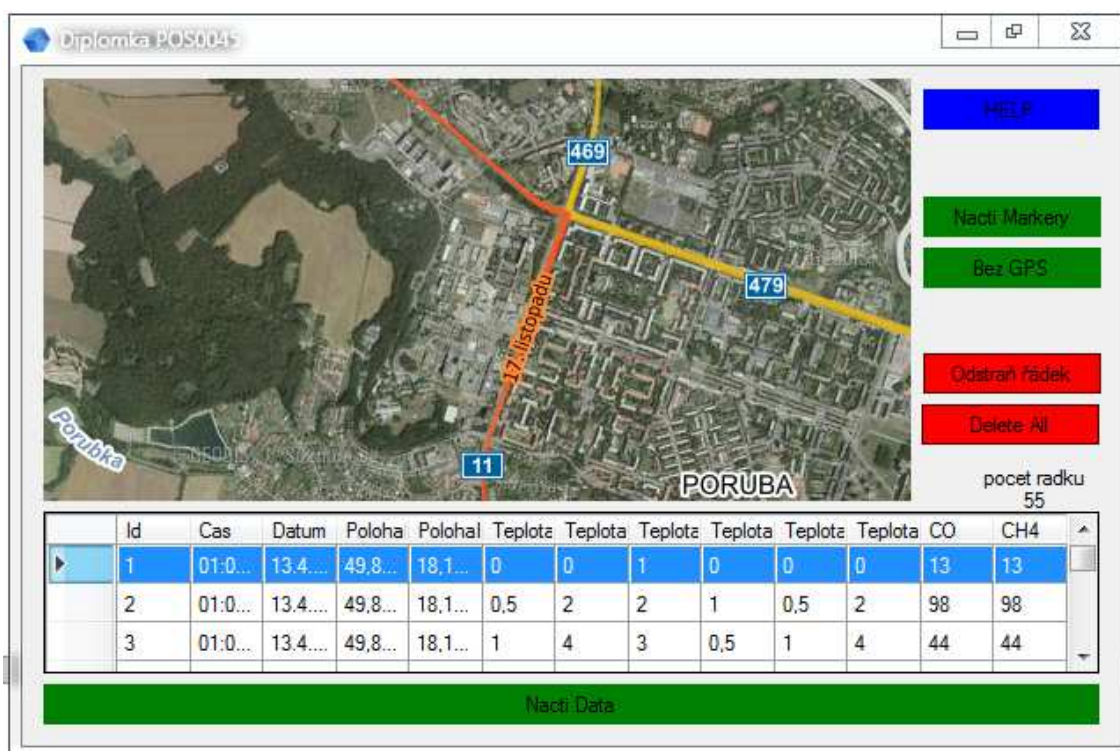
## 4 Vizualizace naměřených dat

V této kapitole bude ukázán program, který slouží pro vizualizaci naměřených dat. Tento program byl naprogramován v jazyce C# v prostředí Visual Studio 2013.

Jelikož je Datalogger navržen tak, aby měřil a ukládal data vždy s GPS údaji (poloha, čas, datum), by vytvořen vizualizační program, který načte údaje o poloze, zobrazí místa měření na mapě a uživatel má na výběr, která měření chce zobrazit.

### 4.1 Popis vizualizačního programu

V tomto odstavci bude popsána základní obsluha vizualizačního programu.



Obrázek 39: Úvodní okno programu

Po spuštění vizualizačního programu se načte okno (obrázek 39). Pokud má uživatel naměřená data v textovém souboru, tak přes stisk tlačítka „Nacti data“ je vybere a data si nahraje do databáze programu. Tato data musí být v určitém formátu viz. obr. 40.

```

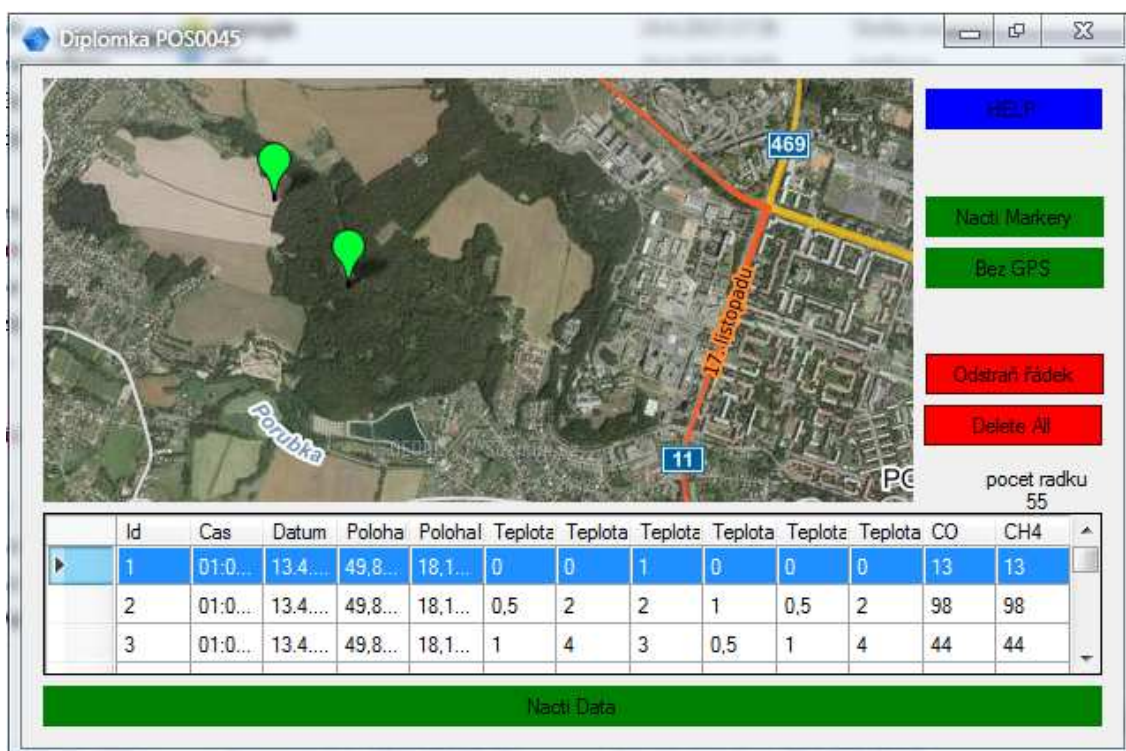
Datum: Cas: PoziceN: PoziceE: T1: T2: T3: T4: T5: T6: CO: CH4:
06.05.2015 11:20 4950.2168 01818.8819 20.1 18.8 19.5 19.9 0.0 0.0 0000 000
06.05.2015 11:21 4950.2174 01818.8806 19.6 17.8 18.3 18.8 0.0 0.0 0000 000
06.05.2015 11:22 4950.3700 01818.8423 19.5 17.0 17.2 22.9 0.0 0.0 0000 000
06.05.2015 11:23 4950.3711 01818.8407 18.9 16.6 16.7 24.9 0.0 0.0 0000 000

```

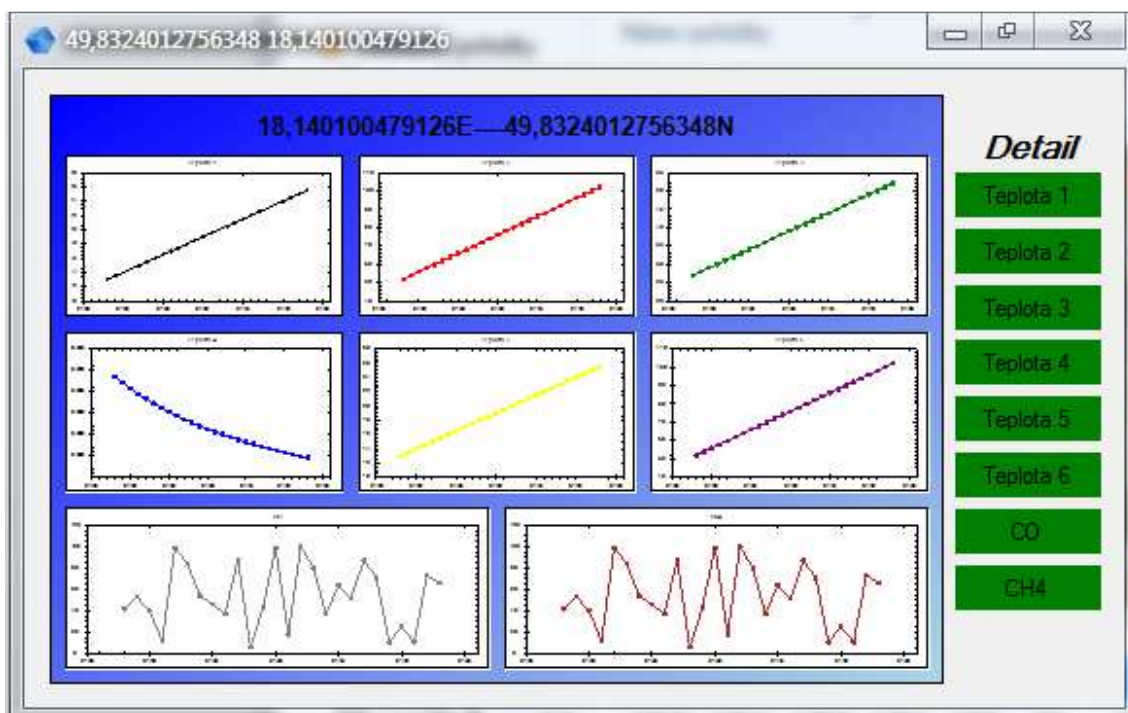
Obrázek 40: Formát vstupních dat

Data zůstanou v aplikaci i po jejím ukončení. Pokud chce uživatel smazat nějaká naměřená data, tak má možnost smazat buď to řádek, který je nějak poškozen, nebo celou databázi.

Pokud uživatel načte data, má na výběr, která chce zobrazit. Pokud stiskne tlačítko „Nacti markery“, zobrazí se jednotlivé pozice na mapě (obrázek 41) a uživatel si může po kliknutí na dané místo data procházet v podobě grafů (obrázek 42).



Obrázek 41: načtené pozice jednotlivých měření



Obrázek 42: Zobrazení naměřených dat ve grafech

V jednotlivých grafech si uživatel může data přibližovat, vybírat oblasti apod. Pokud by chtěl zobrazit jen jeden graf, provede to stiskem příslušného tlačítka.

Pokud uživatel neměl zapnutou GPS a byl v režimu manuálního měření, má možnost procházet i tato data. A to tak, že v úvodním oknu aplikace (obrázek 41) vybere tlačítko bez GPS.



## 5 Zhodnocení dosažených výsledků.

V této práci byl navržen a zprovozněn datalogger důsledků termických činností, postaven na mikrokontroléru ATmega128.

Datalogger měří teplotu z celkem šesti teplotních senzorů od firmy Maxim Integrated (podporuje senzory DS18B20, DS1820, DS18S20). Tyto údaje jsou ukládány na SD kartu do textového souboru s vždy s aktuálním denním datem.

Datalogger obsahuje dva módy, které jsou mezi sebou přepínány automaticky. Automatický režim ukládá aktuální pozici, datum, čas. Manuální režim ukládá datum a čas.

Do dataloggeru je možnost přidat obvod reálného času, pro zálohování času. Tohoto nebylo využito, protože čas a datum byl vždy s úspěchem načten.

Kompletní zařízení obsahuje 10m kabel se 4 senzory teploty DS18B20 s roztečí 3m, jeden subsystém pro měření koncentrace plynů, připojených na stejnou sběrnici a samotný datalogger. Celý systém je možné si prohlédnout v příloze 14.

Další byl zprovozněn a zkalibrován subsystém 1-wire měřiče koncentrace plynů metanu a oxidu uhelnatého, který je postaven na mikrokontroléru ATmega644. Mikrokontrolér emuluje funkci 1-wire SLAVE zařízení, jehož kód lze jednoduše upravit pro měření a ovládání jakéhokoli zařízení s komunikačním protokolem 1-wire.

Subsystém měřiče koncentrace disponuje vlastní unikátní adresou, reaguje na stejné příkazy jako ostatní 1-wire senzory.

Nevýhodou tohoto subsystému je, že byl použit senzor TGS3870, který má velkou spotřebu a samotné měření trvá poměrně dlouhou dobu (pro oba plyny 20s).

Jako poslední část práce byl navržen program pro vizualizaci naměřených dat v jazyce C#. Kompletní program je přiložen v příloze jako instalační balík, který lze po instalaci spustit na jakémkoli počítači s operačním systémem Windows 7 a výše.

V rámci experimentálního ověření funkčnosti vyvinutého systému bylo dne 6. května provedeno měření na haldě Ema v Ostravě. Cílem bylo ověřit činnost jak teplotních senzorů, tak i senzoru plynu spolu s ověřením činnosti vizualizačního SW, který by měl na mapě ukázat správně polohu měřících míst. Pro měření byla vybrána na daném odvalu lokalita u rozptylovače plynů, ve které se nachází největší koncentrace nebezpečných plynů, zejména oxid uhelnatý (CO). V okolí rozptylovače se nachází



několik měřících sond, ve kterých probíhá dlouhodobý monitoring teplot. Vzhledem ke špatným povětrnostním podmínkám (hustý déšť a vítr) byly naměřené hodnoty koncentrace CO velmi nízké až nulové. Měření probíhalo na povrchu rozptylovače. Teploty byly měřeny jak přímo v rozptylovači v hloubce přibližně 50cm, ale také v měřících sondách umístěných v okolí rozptylovače. Naměřené hodnoty teplot a koncentrace nebezpečných plynů byly následně konzultovány s vedoucím práce diplomové práce, který dle dostupných dat z dlouhodobého monitorování potvrdil správnost naměřených hodnot. Největší teplota byla naměřena na okraji rozptylovače a činila přibližně 110°C.

## 6 Seznam literatury

[1] MARTÍNEK, Jan. ABC Linux 2005: 3 (dekódování dat). *Abc Linux* [online]. 2006 [cit. 2015-01-03]. Dostupné z: <http://www.abclinuxu.cz/clanky/ruzne/gps-a-komunikacni-protokol-nmea-3-dekodovani-dat>

[2] HAVLENA, Marek. *Datalogger s paralelním záznamem dat*. Brno, 2012. Dostupné z: [http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2012/BP\\_Havlena.pdf](http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2012/BP_Havlena.pdf). Bakalářská. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

[3] KOZÁK, Michal. *Modul spínaného napájecí zdroj 0-30V 0-5A*. Plzeň, 2012. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/2684/DP.pdf?sequence=1>. Diplomová. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Michal Kubík, Ph.D.

[4] VIČAR, Ondřej. *SYSTÉM NAPÁJENÍ S VYSOKOU ÚČINNOSTÍ PRO MOBILNÍ ZAŘÍZENÍ*. Brno, 2014. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=85483](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=85483). Diplomová. VUT-Brno. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Rakušan.

[5] TEXAS INSTRUMENTS. *Designing A SEPIC Converter: Application Report* [online]. 2006. vyd. 2006, 2013 [cit. 2015-01-03]. ISBN AN-1484. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/snva168e/snva168e.pdf>

[6] FIGARO. *TECHNICAL INFORMATION FOR TGS3870: Technical Information for Combination Methane and Carbon Monoxide Sensors* [online]. 2008, 2012 [cit. 2015-01-03]. ISBN 1553-572X. Dostupné z: <http://www.figarosensor.com/products/3870Dtl.pdf>

[7] MASARYKOVA UNIVERZITA. 2011. *Typy refraktometrů* [online]. Brno, 49 l. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/326354/lf\\_b/Typy\\_refraktometru.pdf](https://is.muni.cz/th/326354/lf_b/Typy_refraktometru.pdf). Bakalářská. MASARYKOVA UNIVERZITA.

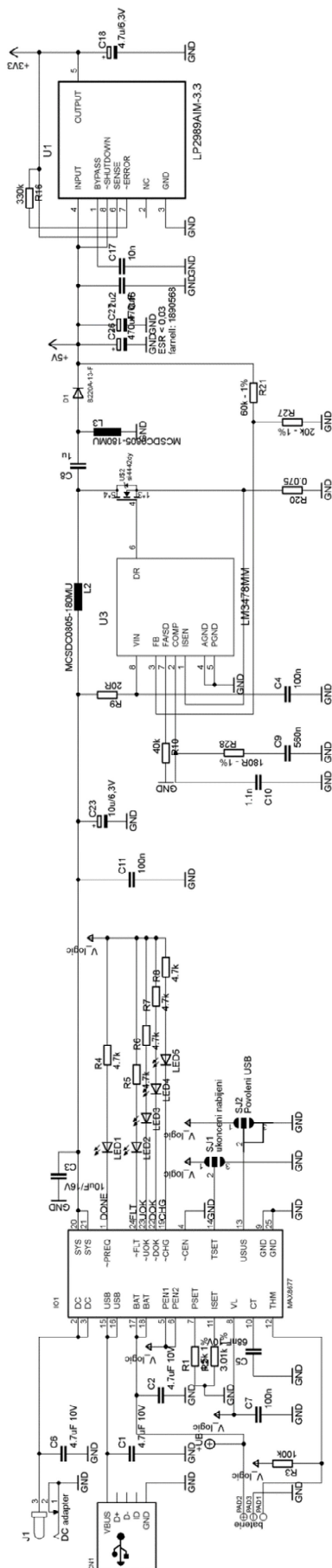
[8] HOLÁ, Miroslava. 2010. *Interferometrie s kompenzací fluktuací indexu lomu vzduchu - experimentální ověření principu*. Olomouc. Dostupné také z: <http://theses.cz/id/z1cy8i/111967-101839219.pdf>. Bakalářská. UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUC.

[9] DUŠEK, Martin a Michal MAZANEC. 2012. *Fyzikální principy optických a optovláknových snímačů* [online]. Říčany [cit. 2015-05-05]. ISBN CZ.1.07/2.3.00/09.0031. Dostupné z: [http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura\\_06\\_1206.pdf](http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_06_1206.pdf)

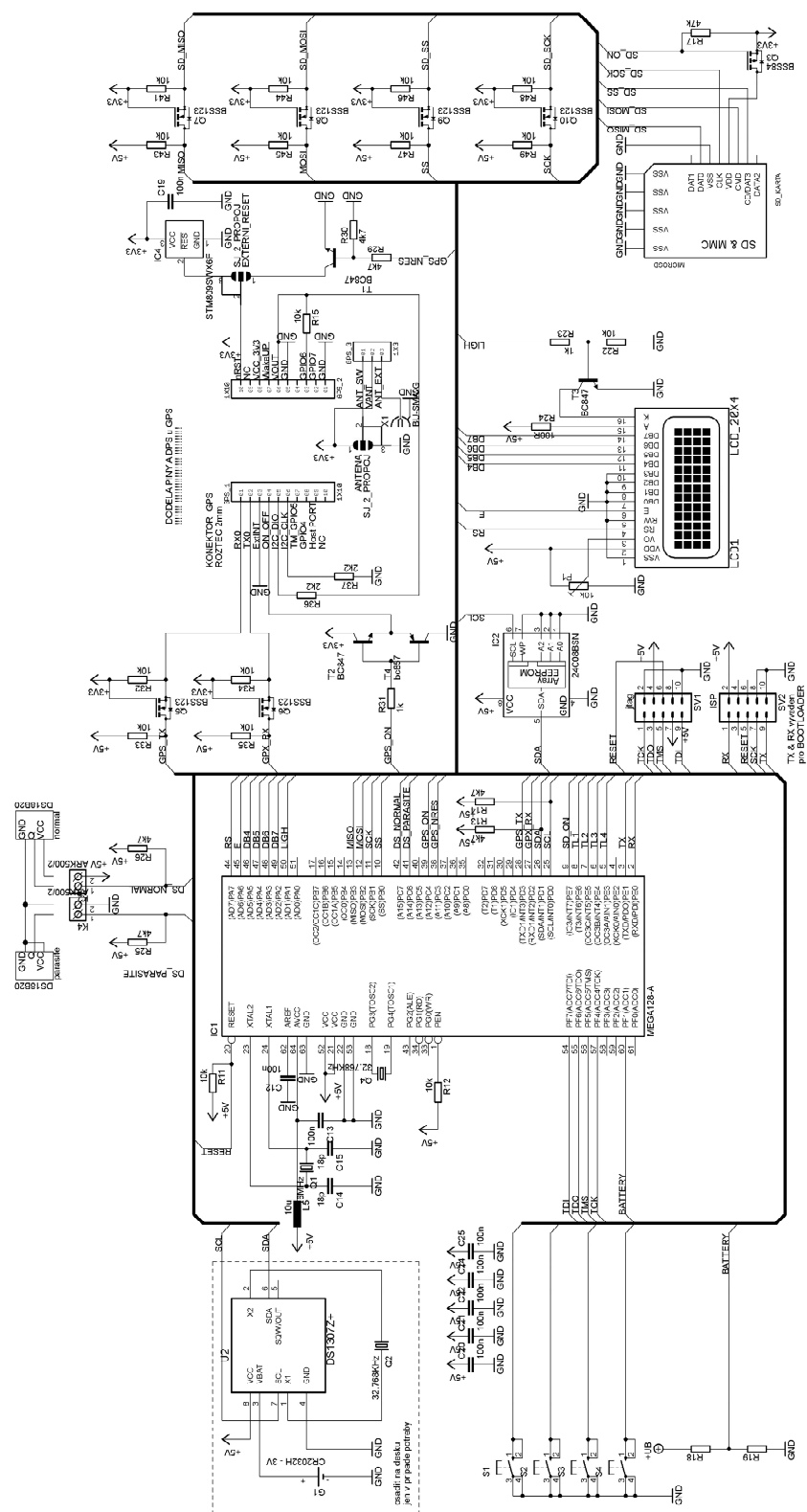
## **7 Seznam příloh**

Příloha 1	Datalogger - Schéma napájecí části dataloggeru
Příloha 2	Datalogger - Schéma řídicí části dataloggeru
Příloha 3	Datalogger - DPS (top) – motiv + osazovací plán
Příloha 4	Datalogger - DPS (bottom) – motiv + osazovací plán
Příloha 5	Datalogger – Seznam součástí
Příloha 6	Datalogger - 3D model osazené DPS – TOP
Příloha 7	Datalogger - 3D model osazené DPS – BOTTOM
Příloha 8	Subsystem pro měření koncentrace metanu a oxidu uhelnatého
Příloha 9	Subsystem - DPS (top) – motiv + osazovací plán
Příloha 10	Subsystem - DPS (bottom) – motiv + osazovací plán
Příloha 11	Subsystem – Seznam součástí
Příloha 12	Subsystem
Příloha 13	Datalogger
Příloha 14	Kompletní sestavení přenosného dataloggeru

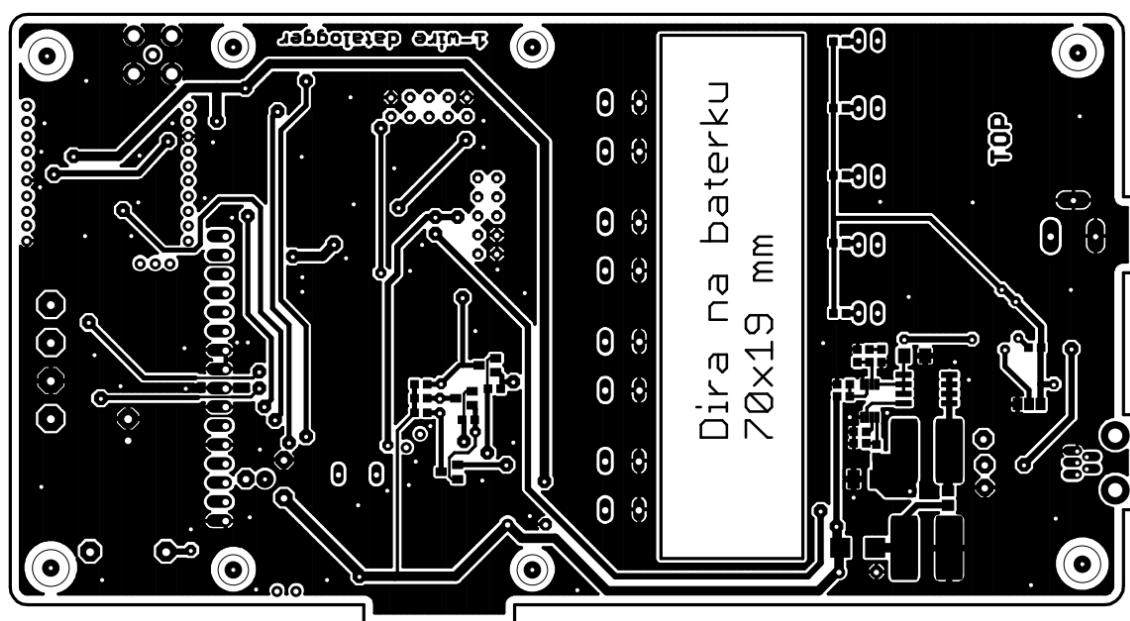
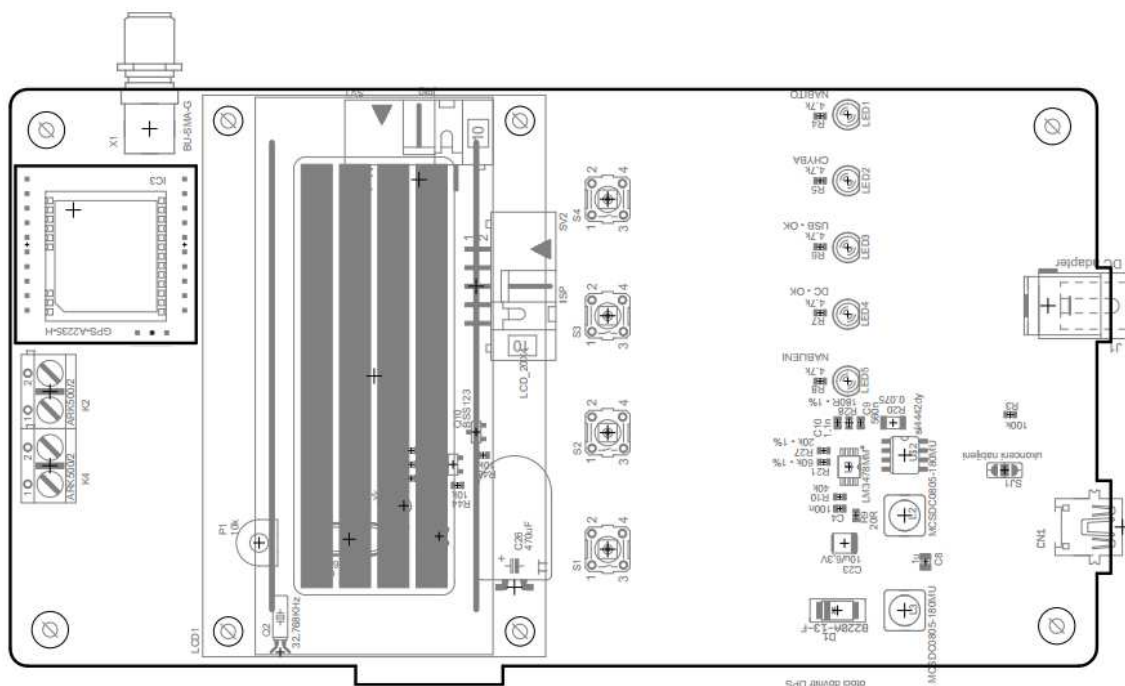
# Příloha 1 - Datalogger - Schéma napájecí části dataloggeru



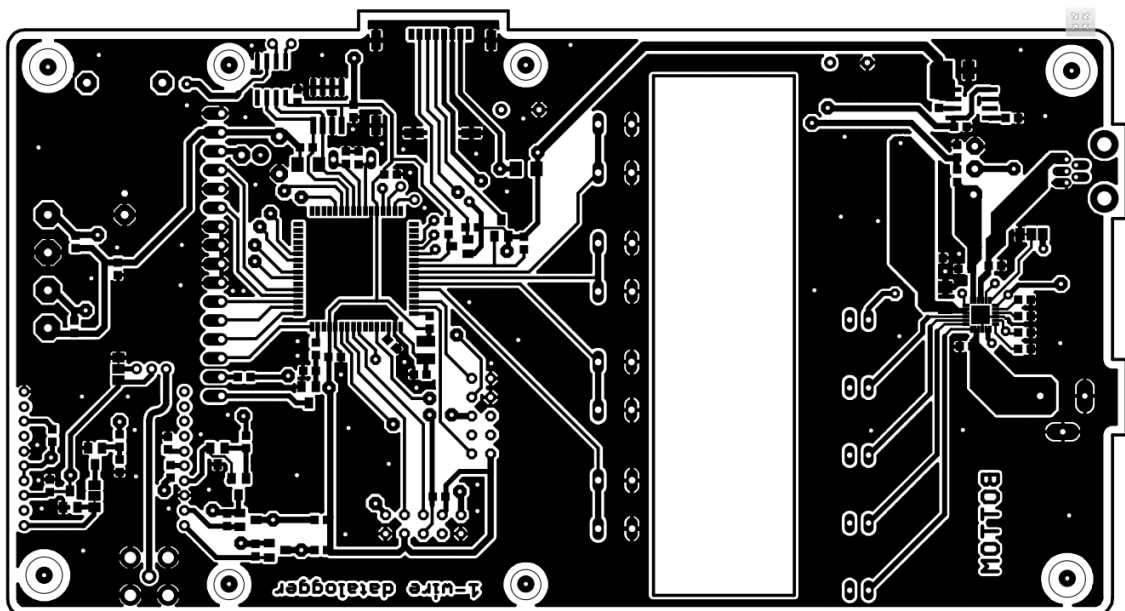
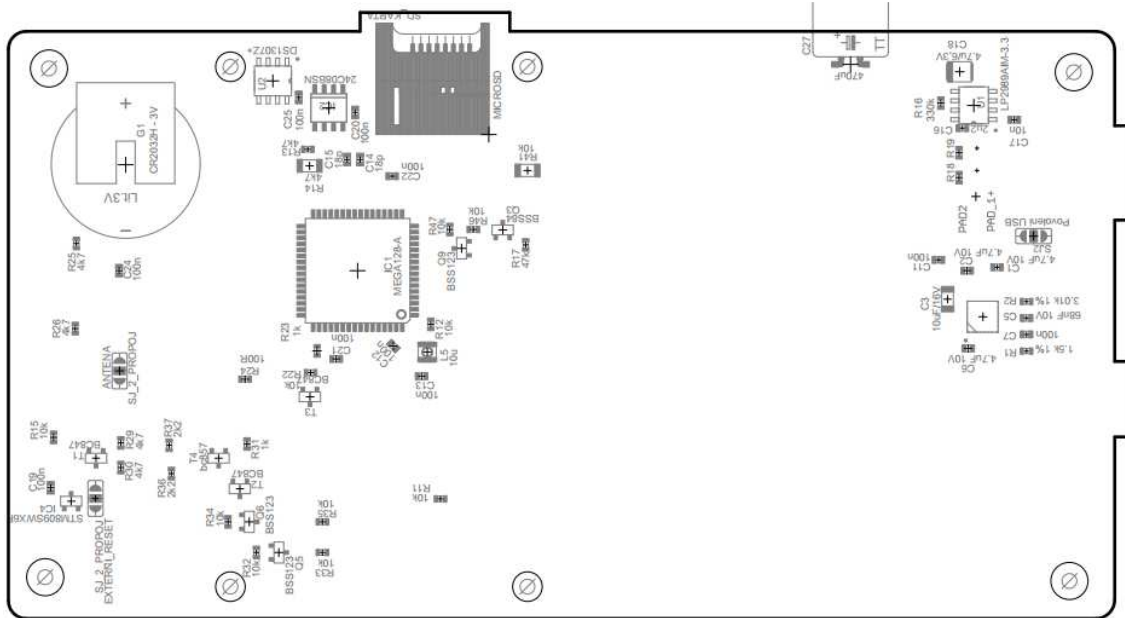
## Příloha 2 - Datalogger - Schéma řídicí části dataloggeru



### Příloha 3 - Datalogger - DPS (top) – motiv + osazovací plán



## Příloha 4 - Datalogger - DPS (bottom) – motiv + osazovací plán

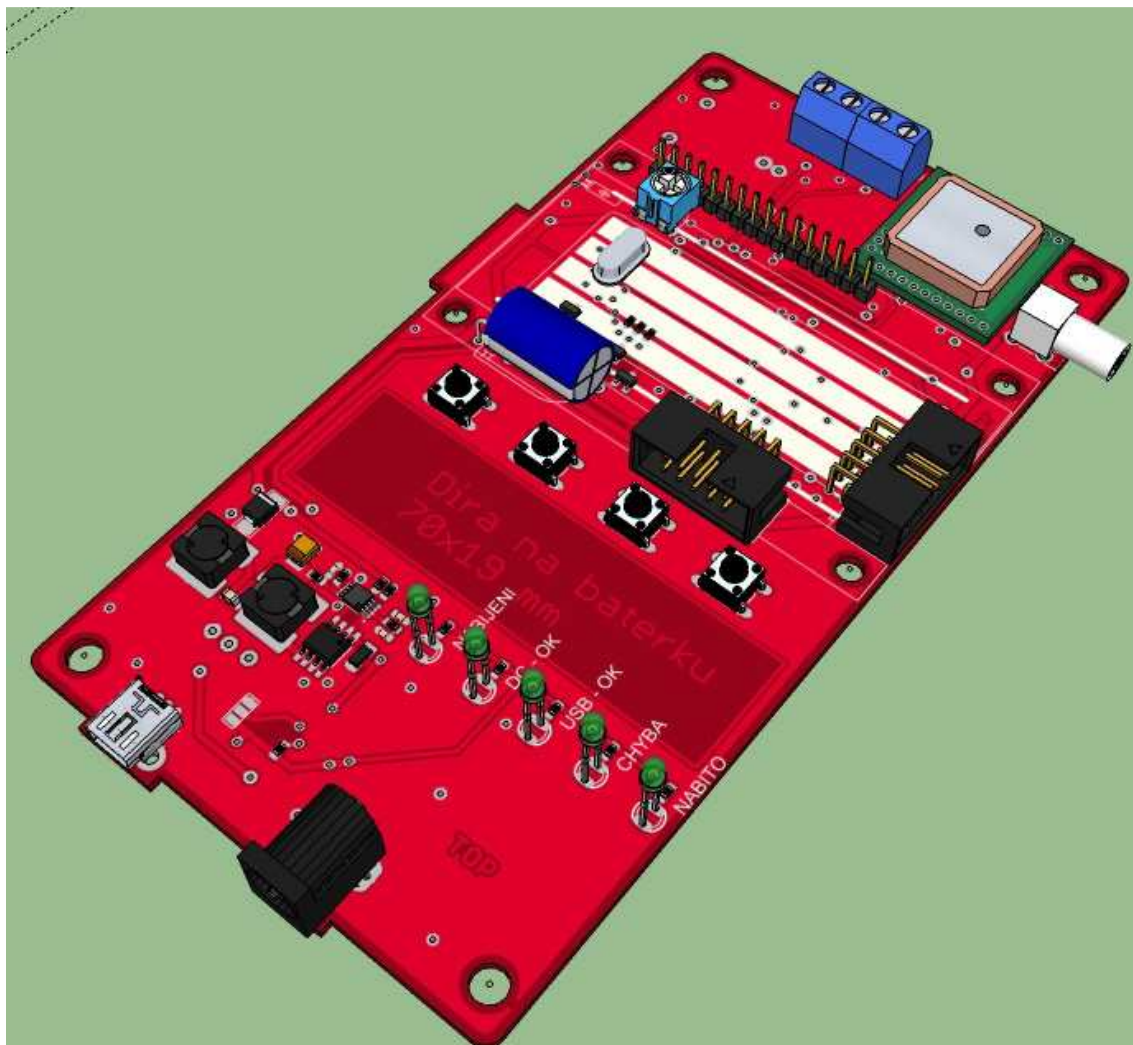




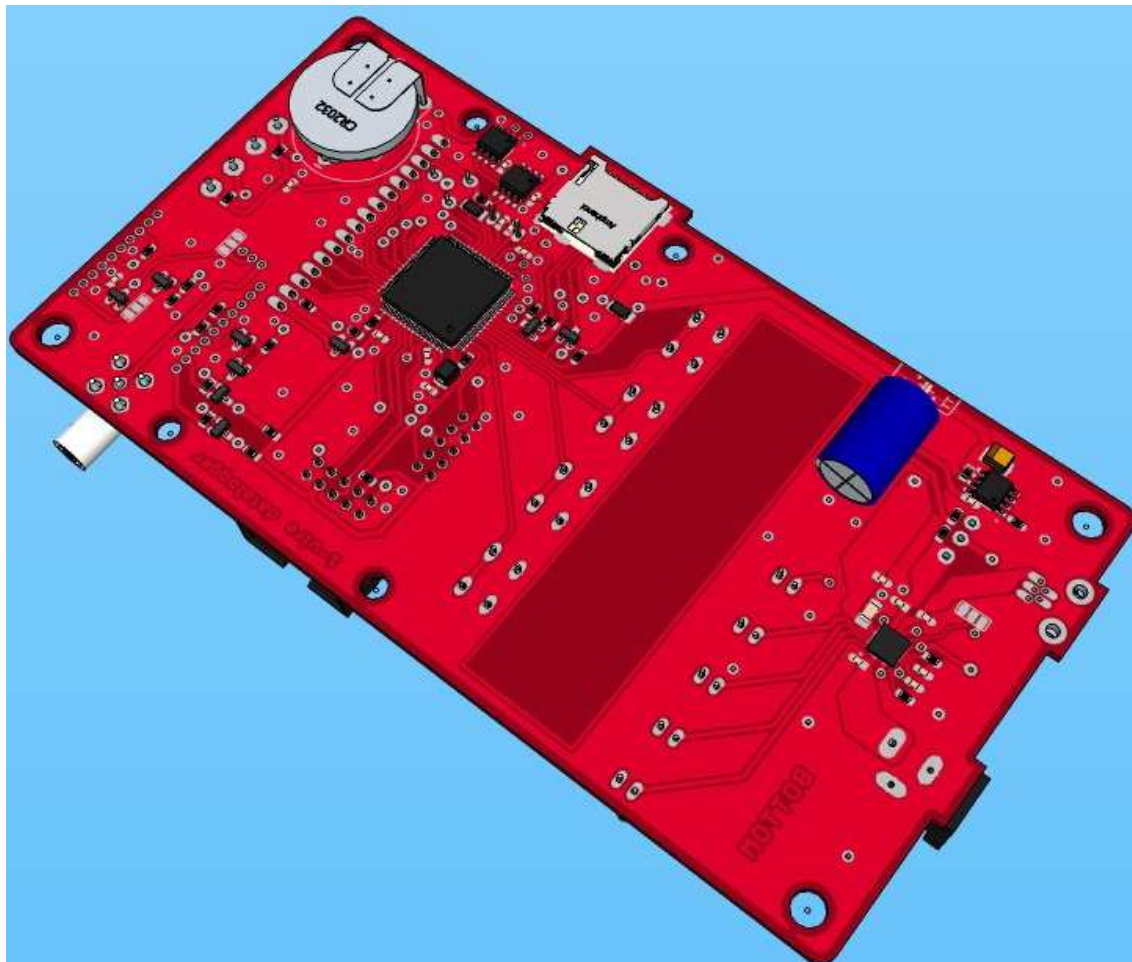
## Příloha 5 – Datalogger – seznam součástek

Popis	hodnota	pouzdro	popis	hodnota	pouzdro
C1	4.7uF 10V	C0603	D1	B220A-13-F	SMADIODE
C2	4.7uF 10V	C0603	G1	CR2032H - 3V	CR2032H
C3	10uF/16V	C1206	IC1	MEGA128-A	TQFP64
C4	100n	C0603	IC2	24C08BSN	SO-08
C5	68nF 10V	C0603	IC3	GPS-A2235-H	GPS-A2235-H
C6	4.7uF 10V	C0603	IC4	STM809SWX6F	SOT23B-3
C7	100n	C0603	IO1	MAX8677	TQFN-400X400-24PIN
C8	3u	C0805	J1	DC adapter	SPC4077
C9	680n	C0603	K2~K4	ARK500/2	ARK500/2
C10	2.7n	C0603	L2~L3	MCSDC0805-180MU	Inductor
C11	100n	C0603	L5	10u	L2825P
C12	100n	C0603	P1	10k	PT6V
C13	100n	C0603	Q1	16MHz	HC49/S
C14	18p	C0603	Q2	32.768KHz	TC26H
C15	18p	C0603	Q3	BSS84	SOT23
C16	2u2	C0603	Q4	32.768KHz	TC26V
C17	10n	C0603	Q5~Q10	BSS123	SOT23
C18	4.7u/6,3V	SMC_B	R1	1.5k 1%	R0603
C19	100n	C0603	R2	3.01k 1%	R0603
C20	100n	C0603	R3	100k	R0603
C21	100n	C0603	R4~R8	4.7k	R0603
C22	100n	C0603	R9	20R	R0603
C23	10u/6,3V	SMC_B	R10	40k	R0603
C24	100n	C0603	R11~R12	10k	R0603
C25	100n	C0603	R13~R14	4k7	R0603
C26	470uF	TT5D11L	R15	10k	R0603
C27	470uF	TT5D11L	R16	330k	R0603
CN1	USB-MINI	USB-THM-MOLEX	R17	47k	R0603
SJ1	End charge	SJ_2	R20	0.075	R1206
SJ2	Povoleni USB	SJ_2_PROPOJ	R21	60k - 1%	R0603
SV1	jtag	ML10L	R22	10k	R0603
SV2	ISP	ML10L	R23	1k	R0603
T1~T4	BC847	SOT23	R24	100R	R0603
U\$2	si4442dy	SO08	R25~R26	4k7	R0603
U1	LP2989AIM-3.3	SOIC127P600	R27	20k - 1%	R0603
U2	DS1307Z+	SOIC127P600	R28	250R - 1%	R0603
U3	LM3478MM	SOP65P490	R29~R30	4k7	R0603
X1	BU-SMA-G	BU-SMA-G	R31	1k	R0603
SD_KARTA	MICROSD	MICROSD	R32~R35	10k	R0603
LCD1	LCD_20X4	LCD_20X4	R36~R37	2k2	R0603
			R41~R49	10k	R1206

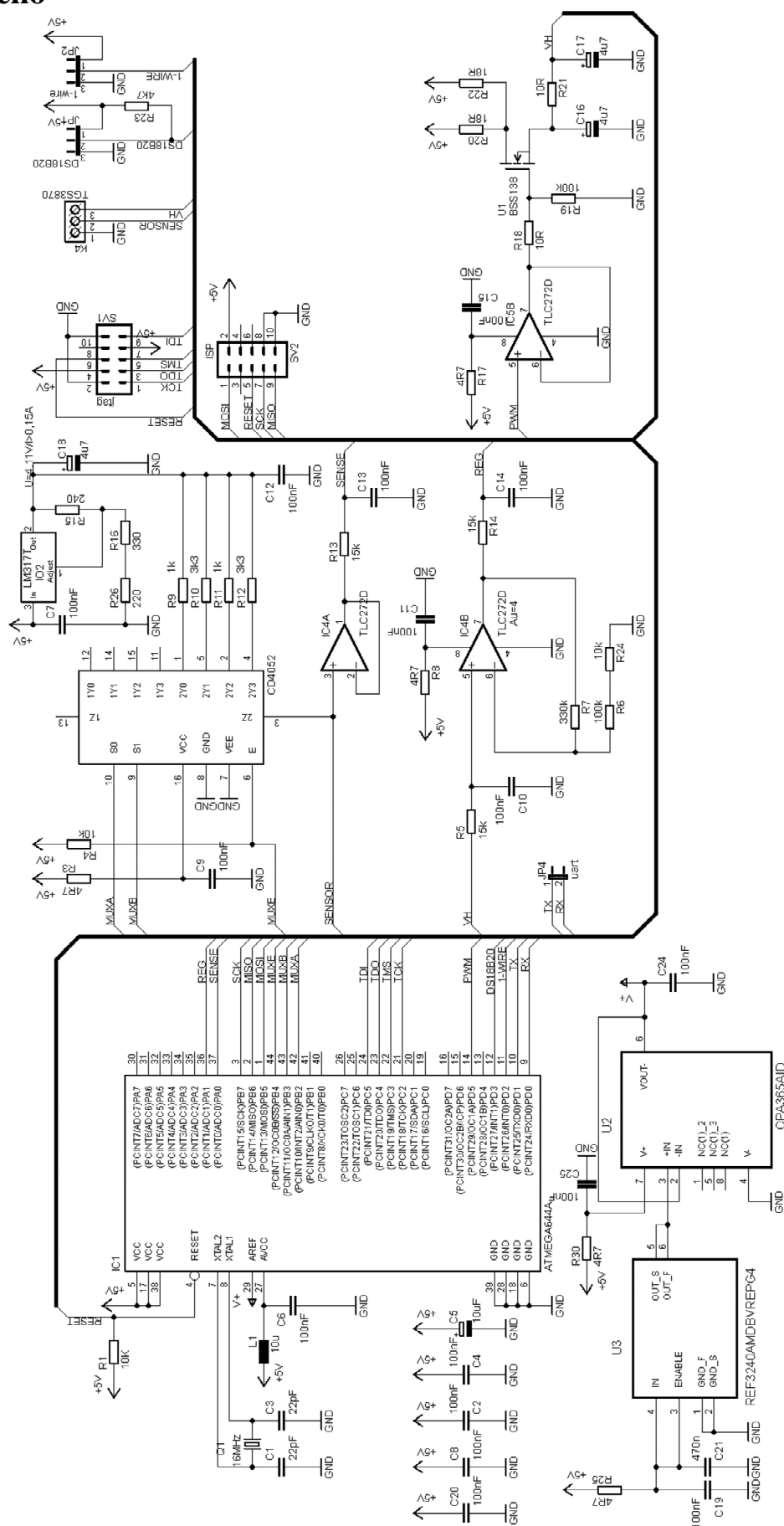
## Příloha 6 - Datalogger - 3D model osazené DPS – TOP



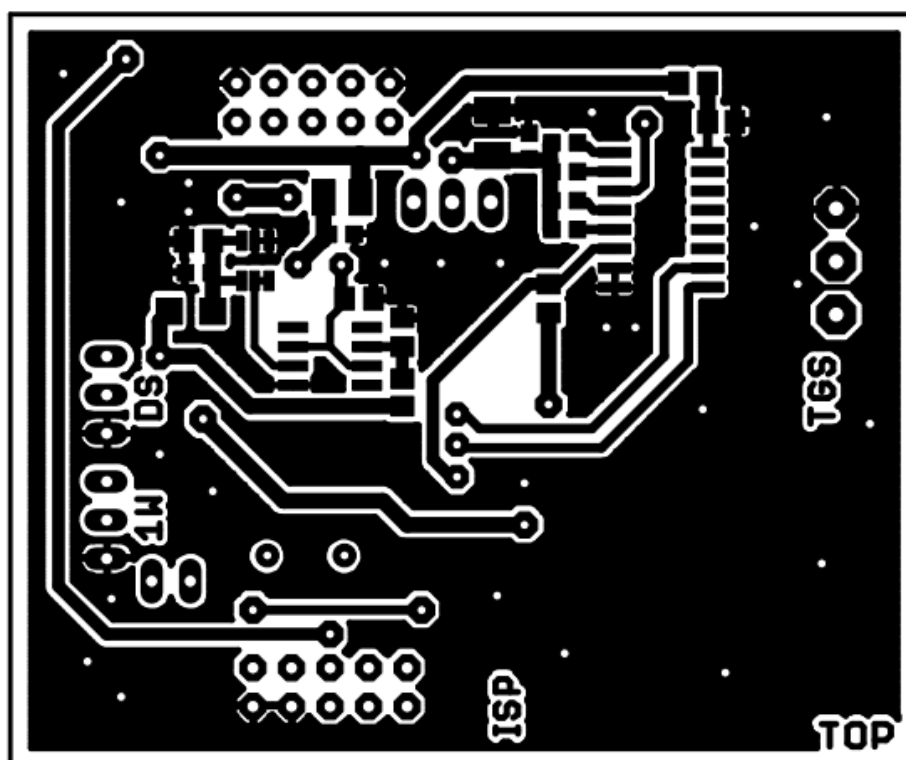
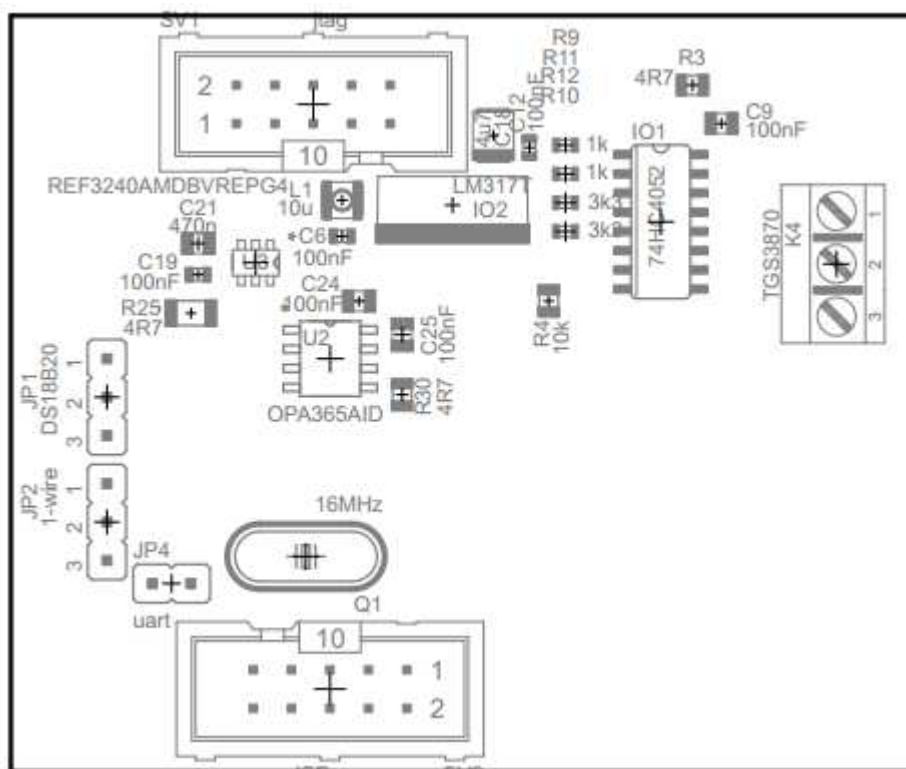
## Příloha 7 - Datalogger - 3D model osazené DPS – BOTTOM



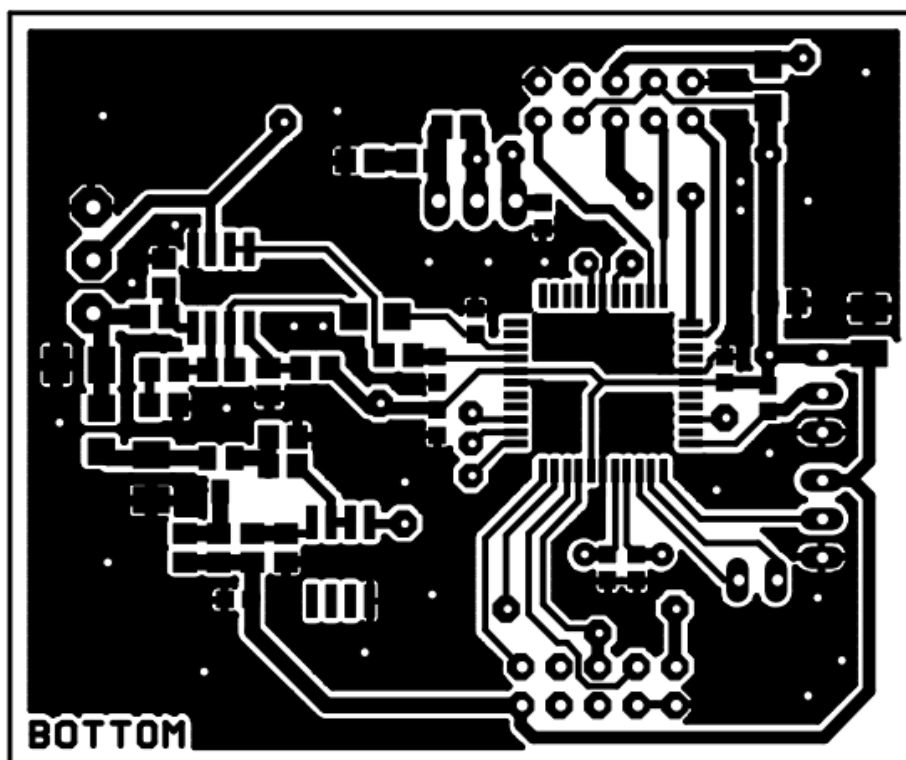
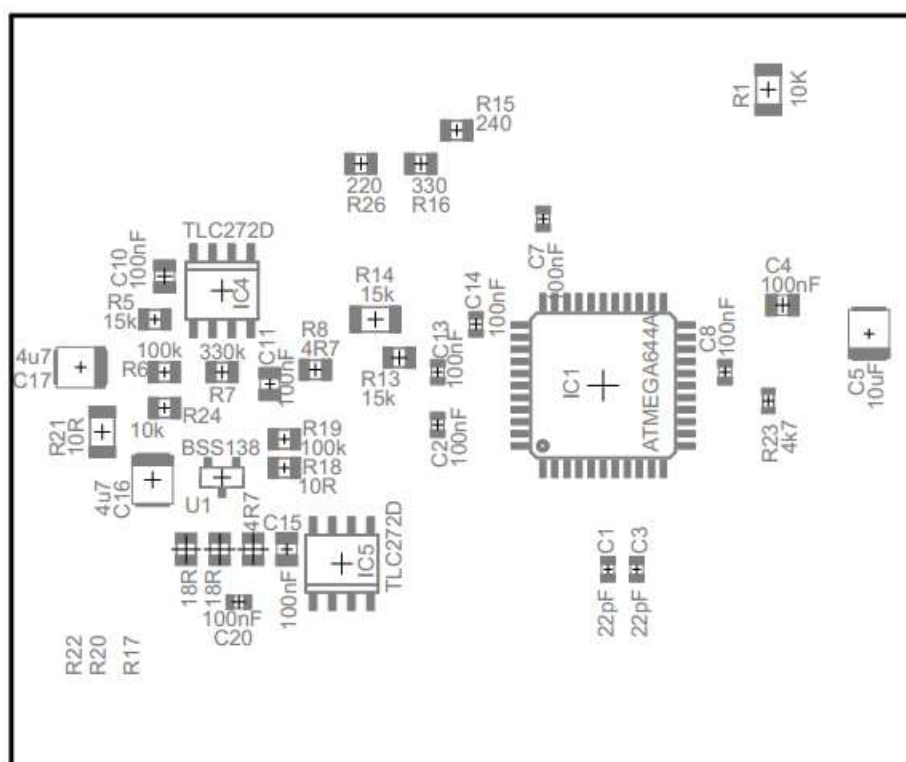
## Příloha 8 - Subsystem pro měření koncentrace metanu a oxidu uhelnatého



## Příloha 9 - Subsystem - DPS (top) – motiv + osazovací plán



## Příloha 10 - Subsystem - DPS (bottom) – motiv + osazovací plán

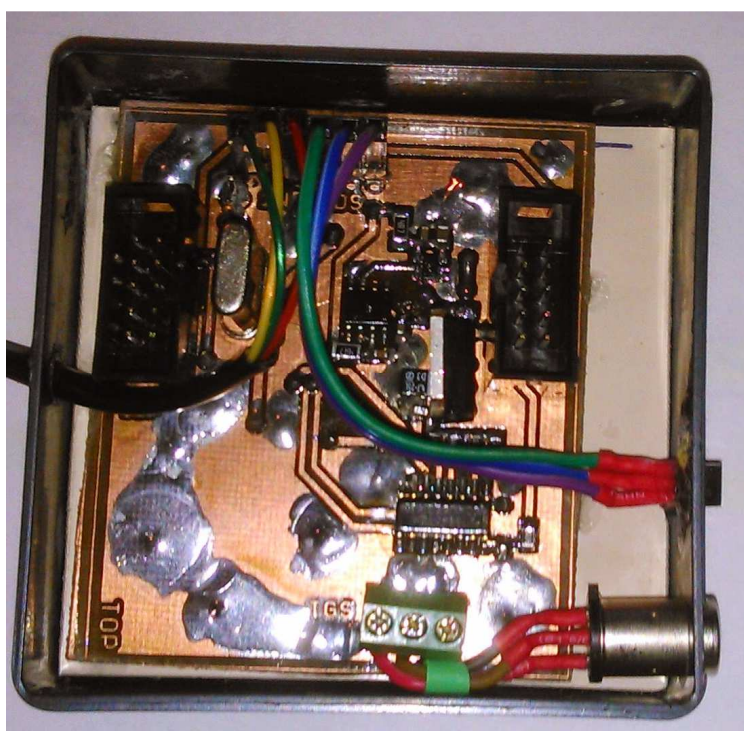
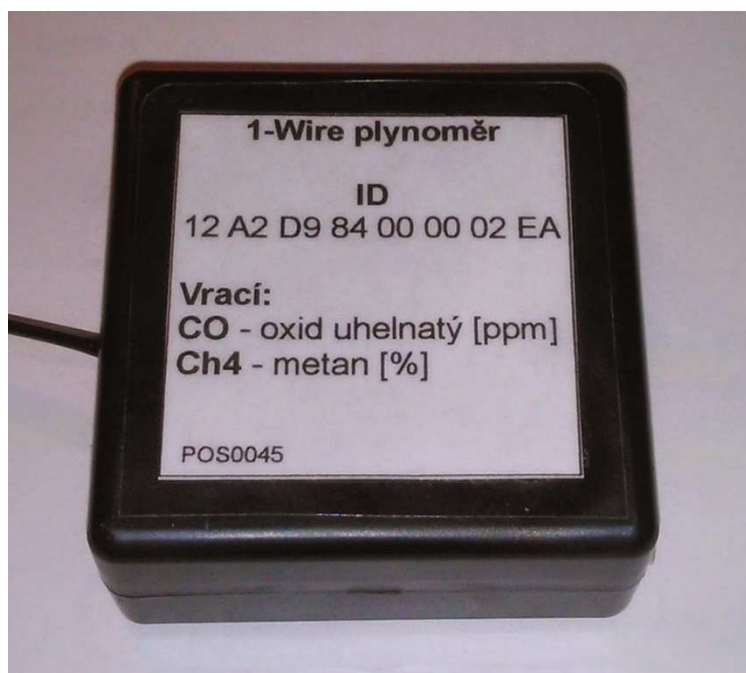


## Příloha 11 – Subsystém – Seznam součástek

Popis	hodnota	pouzdro	Popis	hodnota	pouzdro
C1	22pF	C0603	Q1	16MHz	HC49/S
C2	100nF	C0603	R1	10K	R1206
C3	22pF	C0603	R3	4R7	R0805
C4	100nF	C0805	R4	10k	R0805
C5	10uF	SMC_B	R5	15k	R0805
C6~C9	100nF	C0603	R6	100k	R0805
C10~C11	100nF	C0805	R7	330k	R0805
C12~C14	100nF	C0603	R8	4R7	R0805
C15	100nF	C0805	R9	1k	R0603
C16~C18	4u7	SMC_B	R10	3k3	R0603
C19~C20	100nF	C0603	R11	1k	R0603
C21	470n	C0805	R12	3k3	R0603
C24	100nF	C0805	R13	15k	R0805
C25	100nF	C0805	R14	15k	R1206
IC1	ATMEGA644A	TQFP44	R15	240	R0805
IC4	TLC272D	SO08	R16	330	R0805
IC5	TLC272D	SO08	R17	4R7	R0805
IO1	74HC4052	SO16	R18	10R	R0805
IO2	LM317T	TO-220S	R19	100k	R0805
JP1	DS18B20	JP2	R20	18R	R0805
JP2	1-wire	JP2	R21	10R	R1206
JP4	uart	JP1	R22	18R	R0805
K4	TGS3870	ARK550/3	R23	4k7	R0603
L1	10u	L2825P	R24	10k	R0805
U1	BSS138	SOT23	R25	4R7	R1206
U2	OPA365AID	SOIC127P600X175-8N	R26	220	R0805
U3	REF3240AMDBVREPG4	SOT95P280X145-6N	R30	4R7	R0805
			SV1	jtag	ML10
			SV2	ISP	ML10

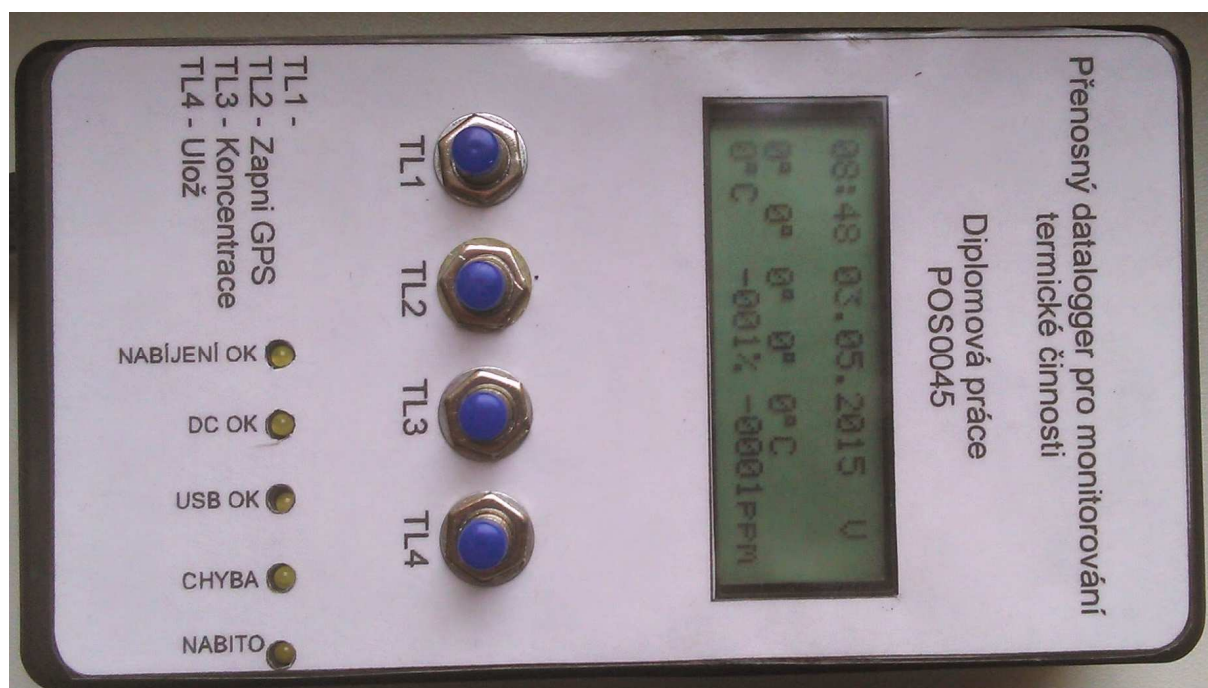


## Příloha 12 - Subsystem





## Příloha 13 – Datalogger



## Příloha 14 Kompletní sestavení přenosného datalogger

